

جمعية المهندسين الملكية المصرية

« تأسست فى ٣ ديسمبر سنة ١٩٢٠ »

ومعتمدة بمرسوم ملكى بتاريخ ١١ دسمبر سنة ١٩٢٢

﴿ النشرة الثالثة للسنة الاولى ﴾

٣

محاضرة

الاعتاب المثلثية المقطع

لحضرة امام افندى شعبان

ألقيت بجمعية المهندين الملكية المصريه

فى ١١ فبراير سنة ١٩٢١

الجمعية ليست مسؤلة عما جاء بهذه الصحائف من البيان والآراء

تنشر الجمعية على اعضائها هذه الصحائف للنقد وكل نقد يرسل للجمعية يجب ان يكتب بوضوح وترفق به الرسومات اللازمة بالحبر الاسود (شيني) ويرسل برسمها صندوق البريد رقم ٧٥١ بمصر

الاعتاب المثلثية المقطع في الخرسانة المسلحه

(المباحث الفنية وأغراضها)

ان أول غرض يرمى اليه البحث الفنى هو النظر الى النتيجة التى وقف عندها السلف فى بحثه ثم التطلع الى مجرى الاحوال وجعل التعديل ملائماً لمقتضى الحال فتؤول نتيجة البحث مثلاالى تغييرمعامل ديم أو استنباط قانون جديدأوالى الجمع بين قاعدتين متباعدتين وهكذا

وللبحث مزية اخرى غير هذا تجعلنا لا نركن فى ادارة أعمالنا الهندسية الى تطبيق النظريات الفنية الماضيةوان كان لا يمكن الاستغناء عن بعضها بل يتسنى لنا أن ندير حركه الكون الفنية بما تصل اليه ابحاثنا الحالية بطرازها المستحدث فتكون ثمرة الاعمال المستخرجة جديدة فى نوعها

وليس كل امرىء بقادر أن يضمن لنفسه الاجادة ولكنه قادر أن يعمل فان انتهى الى بلوغ غايته القصوى فقدأ كمل الواجب مشكوراً وان أبى عليه المنون ذلك فلا يذهبن آسفا على مافات من ثمرة مجهوده ولسوف يجد ممن يخلفه فى البحث شكراً أو ثناءاً لانه بما تركه من بحثه قد ذلل طريقا وعره وفتح بابا موصداً ومع ذلك فقد خلد الاثر لنفسه وان ترك الفائدة لغيره

وقد أشار حضرة الرئيس فى محاضرته الى أن الجمعيات الهندسية تغذى المعاهد باكتشافاتها العلمية ورجاؤنا جميعاً أن ينفذ ذلك فتكون مدرسة الهندسة مركزاً للابحاث الناتجة عن أعمال حضرات المهندسين

(البحث في الاعتاب المسلحة المثلثية المقطع)

قد قمت بعمل هذه المباحث سنة ١٩١٢ ، سنة ١٩١٣ بجامعة برمنجهام والغرض منها مقارنة هذا النوع نظريا وعملياً بأعتاب مستطيلة المقطع وأخرى شكل T والتحقق اذا كانت الاولى أقل حجما أو بعبارة أخرى أقل نفقة من الثانية عند ما تتساوى المقاومة

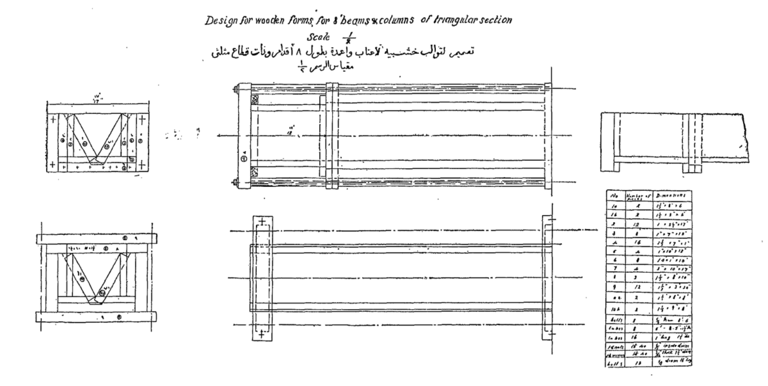
وهذا البحث لا يتعدى نسبة معينة من التسليح وابعاد محدوده

وأهم مزايا الخرصانة المسلحة هى :ــ

«١» سرعة انجاز العمل «٢» مقاومة الانشاءات التى من هذا القبيل للحريق كما شاهدتم فى محل شيكوريل اذ لوكان المحل من المبانى الحجرية أو الحديدية لتهدمت أجزاؤه ولكن الخرصانه تقى الحديد الحرارة «٣» فى الاحوال العادية تكاليف الانشاءات الاصلية ومصاريف الصيانة أقل من أى انشاء آخر معادل لها فى المتانة

«٤» يمكن عمل مبان ذات أدوار عديدة كالعمارات ذات الثلاثين دوراً التى تقرأ عنها فى الجرائد الامريكية من الخرصانة المسلحة لا يمكن عملها بأى طريقة أخرى

«٥» استعمالها فى المناجم كأعتاب والواح لسهولة نقلها وعدم



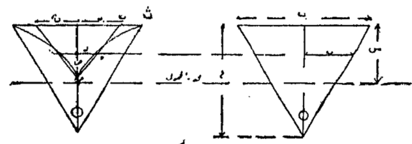
No	Number of pieces	Dimensions
1a	2	1½" × 8" × 6
1b	2	1½" × 3" × 6"
2	12	1" × 3½" × 17"
3	8	1" × 7" × 18"
4	16	1½" × 7" × 1'
5	4	1" × 10" × 12"
6	8	10" × 1" × 10"
7	4	3" × 10" × 17"
8	2	1½" × 8" × 10"
9	12	1½" × 3" × 30"
10a	2	1½" × 8" × 8"
10b	2	1½" × 9" × 8"
bolts	8	⅝" [illegible] 8' 6
tubes	8	[illegible]
tubes	16	1" long 1½" dia
16 nuts	16 no	⅝" inside diam
16 washers	16 no	3/16" thick 1½" diam
bolts	12	⅝ diam 16 long

الخوف من النار التى تشب
من حوادث الانفجار

«٦» لاينا كل الصلب
من الصدألان الخرصانة تقيه

«٧» استعمالها فى أعمال
المجارى والسكك الحديدية
والكبارى والاساسات فى
الاراضى الرملية والطينية
الرخوة والمواسير وعمل
الحواجز فى القناطر
والذى حدا بى الى التفكير
فى هذا النوع من الاعتاب
أنه فى أى عتب يتحمل
الجزء الاعلى من محورالخمول
الضغط ويتحمل الاسفل منه
الشد وان الخرصانة فى
الاسفل من محور الخمول
لا تساعد قضبان الصلب على
مقاومة الشد كما ترى من
الحساب الاتى

لنعتبر أن الخرسانه تعمل مع الصلب فى تحمل الشد ففى هـذه الحالة نعتبر العتب كأنه عتب اعتيادى استبدل فيه التسليح بمقدار من الخرسان يبعد بمسافة ثابتة عن محور الخمول



شكل ١١

فاذا فرض انه ں١ = اكبر جهد للشد فى الخرسانة

و ںہ١ = « « للضغط فى الخرسانة

و ں = « « للشد فى الصلب

و ں = « « للضغط فى الصلب

و ا١ = مساحة الصلب

و ا١١ = « الخرسانة فوق محور الخمول

وحيث ان الخرسانه اعتبرت مشتركة مع الصلب فى تحمل الشد فيجب ان يكون تحريفهما واحدو لنفرض أن ى معامل المرونه للصلب

و ىَ معامل المرونة للخرسانه

و ى/ىَ = ر

فمن شكل ٧ حيث أن التحريف متساو فى الصلب والخرسانة ينتج ان

ں : ںَ = ى : ىَ

و ∴ ں = ںَ × ر و ∴ مساحة التسليح (الصلب) (ا) تستبدل بمساحة مقدارها ر ا من الخرسانة وعلى ذلك تكون المساحة المكافئة للقطاع هى

$$\frac{ب ع}{٢} ــا + ن ا = \frac{ب ع}{٢} + ا (ن ــ ١)$$

ولا يجاد محور الحمول نأخذ العزوم حول اب ينتج أن

$$س = \frac{\frac{ب ع}{٢} \times \frac{ع}{٣} + (ن ــ ١) \times و}{\frac{ب د}{٢} + (ن ــ ١) ا}$$ (٢) ولايجاد عزم

القصور حول محور الحمول مع اهمال عزم قصور المساحة (ن ــ ١) ١ حول محورها يكون

$$عق = \frac{ب \times ع^٣}{٣٦} + \frac{ب \times ع}{٢} (س ــ \frac{ع}{٣})^٢ + (ن ــ ١) ص^٢$$ (٣)

فلو استعملنا ذلك لبعض الكمرات لوجدنا قوة الكمره التي داخلها قضيب قطره ٥ر٩ ملليمتر موضوع على بعد ٧٩٩ر٠ ملليمتر من القاع

$ن = \frac{ى}{ى} = ١٥$ و $ب = ٢٢ر٢٠٣$ و $ع = ٠٨ر١٧٧$ ملليمتر

ومن معادلة (٢) نجد أن

$$س = \frac{\frac{٢٠٣ر \times (١٧ر٨)^٢}{٦} + ١٤ \times ٠ر٧١ \times ١٢ر٧}{\frac{٢٠٣ر \times ١٧ر٨}{٢} + ١٤ \times ٠ر٧١}$$

$= ٦ر٣٥$ سنتيمترا

و من شكل (٦) $ص = ٦ر٣٥$ سنتيمترا

و من المعادلة (٣) نجد أن

$$عق = \frac{٢٠٣ر \times (١٧ر٨)^٢}{٣٦} + \frac{٢٠٣ر \times ١٧ر٨}{٢}$$

$$(٦ر٣٥ ــ \frac{١٧ر٨}{٣})^٢ + ١٤ \times ٠ر٧١ \times (٦ر٣٥)^٢ = ٣٩٠٠ سم^٤$$

ى عم التى تحدث فى الكمرة شرخا أو كسراً بالشد = $\frac{ف_١ \times عق}{ص}$ ومنه

ف١ = القوة النهائية التى تحملها الخرسانة فى الشد = ١٠٫٥٤

كيلوجرام على السنتيمتر المربع

ى عم = $\frac{٣٦٠٠ \times ١٠٫٥}{١١٫٤}$ = ٣٣٢٠ كيلو جراما سنتيمتراً

والحمل القاطع = $\frac{٤ \times ٣٣٢٠}{٢١٣٫٣٦}$ = ٦٣٫٠ كيلو جراما

وبنفس الطريقة وجدت العزوم والمقادير الاخرى المبينة بالجدول نمرة (١) لاعتاب مختلفة وفى الجدول الاتى نجد عزم المقاومة النظرى المسبب للكسر مع عزم المقاومة الحقيقى

وهذه الكمرات قد صنعت من خرسانة بنسبة ١:٢:٥ محتوياتها مبللة وأختبرت بعد مضى شهرين على فتحة مقدارها ٢١٣٫٣٦ سنتيمترا [عزم المقاومة من تأثير وزن الكمرة = ٢٥٠٠ كيلوجرام سنتيم. لان الكمرات تزن ١٣٦ كيلوجراما]

كمرات ذات مقطع مثلثى ٢٠٫٣ × ٢٠٫٣ × ٢٠٫٣ سنتيمترا مصنوعة من خرسانة بنسبة ١ : ٢ : ٥ اختبرت بعد مضى شهرين على فتحة مقدارها ٢١٣٫٣٦ سنتيمترا ومحملة بحمل مركزى (اى فى المنتصف)]

جدول نمرة «١»

نمرة الكمرة	قطر التسليح	بعد التسليح من اعلى بالمليمتر	عزم المقاومة النظرى التشقق بالكيلوجرام سنتيمترا	عزم المقاومة الحقيقى عند الكسر الاول بالكيلوجرام سنتيمترا	عزم المقاومة الذى كسرت الكمرة عنده بالكيلو جرام سنتيمتراً
١	قضيب قطره ٤ر٢٥ مم	٤ر٥٨ مم	٢٨٣٠	٣٠٦٠٠	٤٦٠٠٠
٢	» » »	» »	٢٨٣٠	٤٢٦٠٠	٤٨٠٠٠
٣	» » »	» »	٢٨٣٠	١٥١٠٠	٥٠٠٠٠
٤	» » ٥ر٩ مم	١٢٧ر٠٠ »	٣٣٤٠	٢٩٩٠٠	٣٦١٠٠
٥	» » »	١٢٧ر٠٠ »	٣٣٤٠	١٨١٠٠	١٨١٠٠
٦	» ١٩ر١٤ »	١٢٧ر٠٠ »	٣٨٧٠	٦٠٥٠٠	٦٥٥٠٠
٧	» » »	١٢٧ر٠٠ »	٣٨٧٠	٥٩٨٠٠	٧٣٠٠٠
٨	» ١٩ر٠٥ »	١٢٧ر٠٠ »	٤٦٥٠	٥١٠٠٠	٧٣٠٠٠
٩	» » »	١٢٧ر٠٠ »	٤٦٥٠	٧٥٠٠٠	٩٤٢٠٠
١٠	» » ١٢ر٧ »	١٢٧ر٠٠ »	٣٦٨٠	٥١٣٠٠	٥١١٠٠
١١	» » »	١٢٧ر٠٠ »	٣٦٨٠	٤٣٠٠٠	٥٤٨٠٠

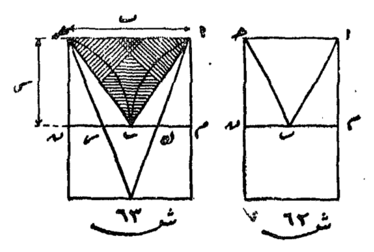
وترى من الجدول أن

أولا — المقاومة الحقيقية تبلغ ١٥ مرة المقاومة المحسوبة

وهذا يدل على ان نظرية اشتراك الخرسان مع الصلب فى تحمل الشد ليست بصحيحة

وفى الحقيقة يمكننا أن نجعل الخرسان تنشق من اسفل ونرى من الخانة الاخيرة من الجدول نمرة (١) ان الاعتاب انكسرت بعزم مقداره مرة ونصف العزم عند اول شرخ وفى الحقيقة ان الشروخ التى تحصل فى الاول لا تضر العتب اذ كلما انقصنا من الخرسانة تحت محور الحمول كلما كان أوفر وظاهر ذلك من الشكل باتخاذ الاعتاب المثلثة المقطع

ثانياً — الالياف فى الجزء الاعلى من محور الحمول معرضة للضغط ويختلف الضغط من صفر عند محور الحمول الى النهاية العظمى فى أعلى الكمره



شكل ٦٣ — شكل ٦٢

ويمكن استبدال المستطيل ا م ن هـ بمثلث ا ب هـ موزعا عليه الضغط بانتظام وهذا الضغط يساوى أقصى ضغط ويسمى المثلث ا ب هـ بالمساحة المكافئة

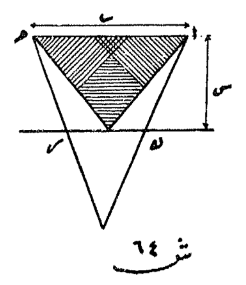
ومساحة هذا المثلث المكافىء تساوى $\frac{\text{س} \times \text{ب}}{٢}$ ∴ مساحة الجزء الخامل والذى يمكن الاستغناء عنه $= \frac{\text{س} \times \text{ب}}{٢}$

أى ان نسبة الجزء الخامل فى المساحة الى المستطيل ا م ن ه
$= ٥٠ \%$

اما المساحة المكافئة فى الاعتاب المثلثة المقطع فهى الشكل المظلل ومساحته كما سأبينها فيما يأتى هى $\frac{\text{ب} \times \text{س}}{\text{ع}} \left(\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦} \right)$

ومساحة الجزء الخامل هى الفرق بين مساحة الشكل ا ك ر ه والمساحة المظللة

$$\text{مساحة ا ك ر ه} = \frac{\text{ع} \times \text{ب}}{٢} - \frac{(\text{ع} - \text{س})^٢}{\text{ع}} \times \frac{\text{ب}}{٢} =$$



ش ٦٤

$$= \frac{\text{ع}^٢\text{ب} - \text{ع}^٢\text{ب} - \text{س}^٢\text{ب} + ٢\,\text{ع}\,\text{س}\,\text{ب}}{٢\,\text{ع}} = \frac{٢\,\text{ع}\,\text{س}\,\text{ب} - \text{س}^٢\text{ب}}{٢\,\text{ع}} = \frac{\text{س}\,\text{ب} \times (٢\,\text{ع} - \text{س})}{٢\,\text{ع}}$$ ومساحة

$$\text{الجزء الخامل} = \frac{\text{س}\,\text{ب}\,(٢\,\text{ع} - \text{س})}{٢\,\text{ع}} - \frac{\text{ب}\,\text{س}}{\text{ع}} \left(\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦} \right) = \frac{\text{ب}\,\text{س}}{٦\,\text{ع}} (٣\,\text{ع} - \text{س})$$

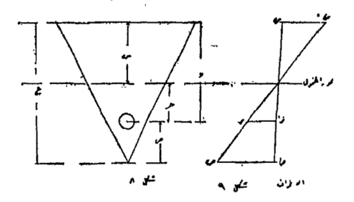
$$= \frac{٣\,\text{س}\,\text{ب}\,(٢\,\text{ع} - \text{س})}{٦\,\text{ع}} - \frac{\text{ب}\,\text{س}\,(٣\,\text{ع} - \text{س})}{٦\,\text{ع}} = \frac{٦\,\text{س}\,\text{ب}\,\text{ع} - ٣\,\text{س}^٢\text{ب} - ٣\,\text{ب}\,\text{س}\,\text{ع} + \text{ب}\,\text{س}^٢}{٦\,\text{ع}} =$$

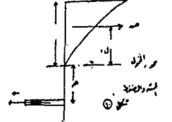
$\frac{٣س ع - ٢س^٢}{٦ع}$ فتكون نسبة مساحة الجزء الخامل الى الشكل ا ك ر ض

$= \frac{٣ع - ٢}{٦ع - ٣س} = \frac{١}{٢} - \frac{١ \times س}{١٢ع} - \frac{١\times٢}{٢٤ع^٢} - \frac{١\times س^٢}{٤٨ع^٣}$ وهكذ

$= \frac{١}{٢} - \left[\frac{س}{١٢ع} + \frac{س^٢}{٢٤ع^٢} + \frac{س^٢}{٤٨ع^٢} \right]$ وهكذا الي مالانهاية

أى ان نسبة الفاقد أقل من ٥٠٪ بمقدار مجموع المتتالية الهندسية التى بين القوسين ومجموع هذه المتتالية يساوى $\frac{\frac{١}{١٢}\frac{س}{ع}}{١ - \frac{س}{٢ع}}$





والجدول الآتى يبين نسبة $\frac{س}{ع}$ والنسبة المئينية للجزء الخامل فى مساحة الجزء الذى فوق محور الحمول فى الاعتاب التى عملتها

نمرة الكمرة	قطـــر سيخ التسليح	نسبة $\frac{س}{ع}$	النسبة المئينيـــة للجزء الخامل الى مساحة الجزء الذى فوق محور الخمول
١	٩ر٥م٠م	١٨١٥ر	٪ ٤٨
٢	١٢ر٧ »	٢٤٤ر	٪ ٤٧ر٦٨
٣	١٩ر٠٥	٣٢٢ر	٪ ٤٦ر٧٩
٤	١٤ر٢٩	٠ر٢٥٧	٪ ٤٧ر٥٨

وتستنتج من هذا الجدول أنه كلما زاد مقدار التسليح كلماقلت النسبة المئنية للجزء الخامل الى مساحة الجزء الذى فوق محور الخمول

وتستنتج ايضا ان هذه النسبة أقل من النسبة فى حالة الاعتاب المستطيلة المقطع أى ان هناك وفر باتخاذ الاعتاب المثلثية المقطع

والآن نبدأ بايجاد مقاومة الاعتاب المثلثية المقطع

نفرض ان الخرسانة لاتأخذ نصيبا من الشد وان المقطع يكون مستويا قبل و بعد الانثناء وان الخرسانه تنقـل التأثير الى الصلب شكل (٨)

ونفرض ف، اقصى قوة للشد فى الخرسانة

و ن، « « للضغط «

و ف « « للشد « «

و ن « « للضغط «

ومن الشكل نمرة ٩

$$\frac{س س_1}{ر ر_1} = \frac{\text{اقصى نقصان فى الخرسانة}}{\text{اقصى امتداد فى الصلب}} = \frac{س}{ص}$$

نفرض ان $\frac{\text{ى}}{\text{ى}^{١}} = \text{ن}$ نسبة معامل المرونة للصلب الى معامل المرونة للخرسانة $\therefore \frac{\text{س}}{\text{ح}} = \text{ن} \times \frac{\text{ق}}{\text{ق}^{١}}$

$\therefore \text{س} = \text{ح ن} \times \frac{\text{ق}}{\text{ق}^{١}} \quad (١)$

$\therefore \text{س} = \text{و} - \text{ح}$

$\therefore \text{و} - \text{ح} = \text{ح ن} \times \frac{\text{ق}}{\text{ق}^{١}}$ من المعادلة (١)

$\therefore \text{و} = \text{ح} \left(١ + \text{ن} \frac{\text{ق}}{\text{ق}^{١}} \right)$

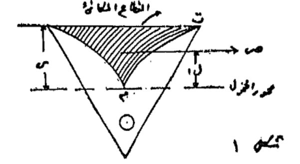
$\therefore \text{ح} = \frac{\text{و}}{١ + \text{ن} \times \frac{\text{ق}}{\text{ق}^{١}}}$

ومن الشكل نمرة ١٠

ش = الشد الكلى و ض = الضغط الكلى

ش = ف × ا

ا = مساحة التسليح



شكل ١

حساب الضغط الكلى فى الخرسانه

ننشىء القطاع المكافىء أو المساحة المكافئة فالمساحة المظللة تمثل المساحة المكافئة فى شكل (١)

ولايجاد المعادلة المنحنى م ا ب من شكل (١١)

$$\frac{\text{ل}}{\text{ص}} = \frac{\text{ب}}{\text{س}} \quad \cdots\cdots \quad (٤)$$

ومن الشكل (١١) أيضاً

$$\frac{\text{ت}}{\frac{\text{ب}}{٢}} = \frac{\text{ع} - \text{س} - \text{ص}'}{\text{ع}} = \frac{\text{ع} - \text{س} + \text{ص}}{\text{ع}} \quad \cdots\cdots \quad (٥)$$

$$\therefore \quad \text{ت} = \frac{\text{ب}}{٢} \times \frac{\text{ع} - \text{س} + \text{ص}}{\text{ع}}$$

ومن المعادلة (٤)

$\text{ل} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} \times \frac{\text{ب}}{٢} \left(\frac{\text{ع} - \text{س} + \text{ص}}{\text{ع}} \right)$ التى هى معادلة من الدرجة الثانية

لايجاد الضغط الكلى : شكل ١٢ وشكل ١٣

نأخذ شقة صغيرة عرضها ٢ل وارتفاعها ءص ووحدة الضغط عليها $\text{ف}_١$ فيكون الضغط على هذه الشقة $= ٢\,\text{ل} \times \text{ءص} \times \text{ف}_١$

و يكون الضغط الكلى ض = تكامل الضغط على الشقة

$$\text{ض} = \int ٢\text{ل}\ \text{ءص} \times \text{ف}_١$$

ثم نستبدل ل بالمقدار الذي سبق ايجاده

$$\text{ص} = \int^{\text{س}} ٢\,\text{ف}_١ \frac{\text{ص}}{\text{س}} \times \frac{\text{ب}}{٢}\left[\frac{\text{ع}-\text{س}+\text{ص}}{\text{ع}}\right]\text{ء ص}$$

$$= ٢\,\text{ف}_١ \;\text{تكا}\, \frac{\text{ص}}{\text{س}} \times \frac{\text{ب}}{٢}\left(\frac{\text{ع}-\text{س}+\text{ص}}{\text{ع}}\right)\text{ء ص}$$

$$= \frac{\text{ف}_١\,\text{ب}}{\text{س ع}}\;\text{تكا}\left(\text{ص ع} - \text{ص س} + \text{ص}^٢\right)\text{ء ص}$$

$$\text{ف} = \frac{\text{ف}_١\,\text{ب}}{\text{س ع}}\left[\frac{\text{ص}^٢\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س ص}^٢}{٢} + \frac{\text{ص}^٣}{٣}\right]$$

$$= \frac{\text{ف}_١\,\text{ل}}{\text{س ع}}\left[\frac{\text{س}^٢\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}^٣}{٢} + \frac{\text{ع}^٣}{٣}\right]$$

$$\therefore \text{ص} = \frac{\text{ف}_١\,\text{ل}}{\text{س ع}}\left\{\frac{\text{س}^٢\text{ع}}{٢} + \frac{\text{س}^٣}{٦}\right\}$$

$$= \frac{\text{ف}_١\,\text{ل س}}{\text{ع}}\left\{\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦}\right\} \quad \cdots\cdots \quad (٦)$$

شكل ١٢

وبما ان الضغط الكلى فى الخرسانه = الشد الكلى فى الصلب

$$\therefore \text{الشد ا ف} = \frac{\text{ف}_١ \times \text{ب س}}{\text{ع}}\left\{\frac{\text{ع}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦}\right\}$$

$$\therefore \frac{\text{ف}}{\text{ف}_١} = \frac{\text{ا} \times \text{ع}}{\text{ب س}\left\{\frac{\text{ب}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦}\right\}}$$

ولكن من المعادلة (١)

$$\frac{\text{ف}}{\text{ف}_١} = \frac{\text{س}}{\text{حـ ن}}$$

$$\frac{\text{س}}{\text{ع حـ}} = \frac{\text{ا ع}}{\text{ب س}\left(\frac{\text{ب}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦}\right)}$$

$$\therefore \text{س} = \frac{\text{حـ ن ا ع}}{\text{ب س}\left(\frac{\text{ب}}{٢} - \frac{\text{س}}{٦}\right)}$$

$$\therefore\ \text{ب س}^{٢}\left(\frac{\text{ع}}{٢}-\frac{\text{س}}{٦}\right)=\text{ح ن}\times ١\times \text{ع}$$

$$\because\ \text{ح}=\text{و}-\text{س}$$

$$\therefore\ \text{ب س}^{٢}\left(\frac{\text{ع}}{٢}-\frac{\text{س}}{٦}\right)=(\text{و}-\text{س})\,\text{ن}\times ١\times \text{ع}$$

$$\text{ب س}^{٢}(٣\text{ع}-\text{س})=٦(\text{و}-\text{س})\,\text{ن}\times ١\times \text{ع}\quad \ldots\quad (٨)$$

وهذه معادلة من الدرجة الثالثة

ومنها يمكن تعين محور الخمول اذا علم لنا مساحة الصلب

ولايجاد مركز الضغط أو بعبارة أخرى لايجاد مركز الثقـل للمساحة المكافئة

(المساحة المكافئة هى المساحة التى عليها الجهد موزع بانتظام و يساوى اقصى جهد على العتب)

نقول $\text{ص}=\frac{\text{ن}_{١}\times \text{ب}\times \text{س}}{\text{ع}}\left[\frac{\text{ع}}{٢}-\frac{\text{س}}{٦}\right]$

لَ بعد مركز الضغط عن محور الخمول

$$\therefore\ \text{ص لَ}=٢\,\text{تكا}\ \text{ن}_{١}\times\frac{\text{ص}}{\text{س}}\times\frac{\text{ب}}{٢}\left\{\frac{\text{ع}-\text{س}+\text{ص}}{\text{ع}}\right\}\text{ص ء ص}$$

أى العزم للضغط الكلى حول محور الخمول = تكامل العزوم بالنسبة للشقة

$$=\frac{٢\,\text{ن}_{١}\,\text{ب}}{٢\,\text{س}\,\text{ع}}\,\text{تكا}^{\text{س}}\ \text{ص}^{٢}(\text{ع}-\text{س}+\text{ص})\,\text{ء ص}$$

$$=\frac{\text{ن}_{١}\,\text{ب}}{\text{س}\,\text{ع}}\left[\frac{\text{ص}^{٣}\text{ع}}{٣}-\frac{\text{ص}^{٣}\text{س}}{٣}+\frac{\text{ص}^{٤}}{٤}\right]^{\text{س}}$$

$$= \frac{\text{ب}_{١}}{\text{س ع}} \left[\frac{\text{س}^{٣}\,\text{ع}}{٣} - \frac{\text{س}^{٤}}{٣} + \frac{\text{س}^{٤}}{٤} \right]$$

$$= \frac{\text{ب}_{١}}{\text{س ع}} \left[\frac{\text{س}^{٣}\,\text{ع}}{٣} - \frac{\text{س}^{٤}}{١٢} \right]$$

$$= \frac{\text{ب}_{١}\,\text{س س}^{٢}}{\text{ع}} \left[\frac{\text{ع}}{٣} - \frac{\text{س}}{١٢} \right]$$

$$\text{ل}_{١} = \frac{\text{ب}_{١}\,\text{س س}^{٢}}{\text{ع ب}_{١} \times \text{س س}} \left[\frac{\frac{\text{ع}}{٣} - \frac{\text{س}}{١٢}}{\frac{\text{ع}}{٣} - \frac{\text{س}}{٦}} \right]$$

$$= \frac{٤ \times \text{ع} - \text{س}}{٦\,\text{ع} - \text{س}} \times \text{س} \quad \cdots\cdots \quad (٩)$$

ملحوظة : فى هذاالتكامل س مقدار ثابت

والآن نطبق هذه القوانين ونبحث عن مقاومة اعتاب مختلفة

منها كمرة ذات سيخ واحد قطره ١٢٫٧ م.م ويعده عن الحافة

السفلى ٥٠٫٧٩٩ م.م وباستعمال المعدلة (٨) ينتج

$$\therefore \text{ا} = ١٫٢٧ \text{ سم}^{٢}$$

$$٢٠٫٣ \text{ س}^{٢} (٥٣٫٤ - \text{س}) = ٦ (١٢٫٧ - \text{س}) \times ١٥ \times$$

$$١٫٠٣٢ \times ١٧٫٨\,\text{س} = ٤٣٫١ \text{ م م}$$

$$\text{حـ} = \text{و} - \text{س} - ٨٣٫٨٢ \text{ م.م}$$

ومن المعادلة (٦) $\text{ص} = \frac{٢٤٫٦ \times ٢٠٫٣ \times ٤٣٫١}{١٧٨} \left(\frac{١٧٫٨}{٢} - \frac{٤٣٫١}{٦} \right)$

$=$ ٩٩٧٫٩٠٤ كيلو جرام

نأخذ العزم حول مركز الشد فى الكمرة فينتج عندنا ان

$$\text{عم} = ٩٩٧٫٩٠٤ (\text{لَ} + \text{حـ})$$

$$ل َ = \frac{٤ \times ١٧٫٨ - ٤٫٣١}{٦ \times ١٧٫٨ - ٢ \times ٤٫٣١} \times ٤٫٣١ = ٢٫٩٣٣٧ \text{ سم}$$

∴ عم = ٩٩٧٫٩٠٤ × (٢٫٩٣٣٧ + ٨٫٣٨٢) =

١١١٥٠ ك . سم

وحمل الامن في منتصف العتب = $\frac{١١١٥٠ \times ٤}{٢١٣٫٣٦}$

= ٢١١٫٣٧٤ كيلو جرام

عزم المقاومة الذى يسبب كسر الخرسانة = ٥ × ١١١٥٠

= ٥٥٧٥٠ ك . س م

والحمل القاطع فى منتصف العتب = ١٠٥٦٫٨٦ ك . حـ

ثم نأخذ العزوم حول مركز الضغط فى الخرصانه فينتج

عم = ف ا (ل َ + حـ)

ف = ٩٣٨ ك . حـ / سم ٢

عم = ٩٣٨ × ١٫٢٧ × ١١٫٣١٦ = ١٣٤٠٠ ك سم

وحمل الامن حينئذ = ٢٥١ ك . حـ

وعزم المقاومة الذى يسبب خضوع الصلب

= $\frac{١٩}{٦}$ × ١٣٤٠٠ = ٤٢٤٠٠ ك سم

ولانى وجدت الصلب الذى استعملته له حمل تسليم مقـداره

٢٩٦٠٠ كيلو جرام على السنتيمتر المربع

والحمل القاطع فى هذه الحالة = ٧٩٥ ك . جرام

وعند حساب حمل الامن لا بد وأن نعتبر الحمل ٢١١٫٣٧٤

ك . جرام وليس ٢١٥ ك . جرام

وعند حساب الحمل القاطع لابد وان نعتبر الحمل ٧٩٥ ك . جرام وليس ١٠٥٦ ك . جرام

أى أن العتب ينكسر بواسطة خضوع أو تسليم الصلب

وقد اثبتت التجربة ذلك

اذ نرى من الجدول نمرة ٢ : ان الحمل القاطع الحقيقى بخانة نمرة ٨ هو ٩٨٥ ك.جرام أى اقل من الحمل القاطع بالنسبة للخرسانه. وقد انكسر العتب فعلا بخضوع الصلب

الجدول الاتى يشتمل على المقاومة الحقيقية المحسوبة لكمرات مماثلة المقطع مسلحة بسيخ واحد على بعد ٥٠ر٧٩٩مم من الحافة السفلى والمخلوط كان بنسبة ١:٢:٥ المقابلة الى ١٦ر٣ كجرام من الاسمنت الى ٣١ر٠٠ك جرام من الرمل الى ٨٥ك جرام من الحصى

« جدول نمرة ٢ »

نمرة الكمرة	قطر القضبان التسليح مم	مساحة التسليح س م٢	النسبة المئوية لمساحة التسليح ومساحة الخرسانة فوق الصلب ٪	موقع محور الخرسانة من الاعلى س	حمل الامن المحسوب	مقاومة الكمر المحسوبة	مقاومة الكمر الحقيقية	الحمل القاطع لاول تشقق
١	٩ر٥مم	٧١ر	٤٣ر	٢ر٨٤١	١٤٦	٤٦٥	٦٧٥	٥٦٢
٢	٩ر٥	٧١ر	٤٣ر	٢ر٨٤١	١٤٦	٤٦٥	٣٤٠	٣٤٠
٣	١٢ر٧	١ر٢٧	٧٦٥ر	٤ر٣٢	٢١١	٨٠٩	١٠٢٥	٥٣٥
٤	١٢ر٧	١ر٢٧	٧٦٥ر	٤ر٣٢	٢١١	٨٠٩	٩٨٥	٩٨٥
٥	١٤ر٢٩	١ر٦١	٩٧ر	٤ر٥٧	٢٢٠	٩٦٠	١٠٤٠	٦٥٧
٦	١٤ر٢٩	١ر٦١	٩٧ر	٤ر٥٧	٢٢٠	٩٦٠	١٦٨٠	١٦٨٠
٧	١٩ر٠٥	٢ر٩٠	١ر٧٢٥	٥ر٧١	٢٦٧	١٣٦٠	٢٠٤٠	٩٤٠
٨	١٩ر٠٥	٢ر٩٠	١ر٧٢٥	٥ر٧١	٢٦٧	١٣٦٠	١٧٧٠	١٤٠٥

وبلل الخرصان ثم قلب ثلاث مرات قبل البل وبعده . وبعد مضى شهرين اجريت التجارب على الكمرات بوضع حمل على منتصف مسافة قدرها ٢١٣٫٣٦ س.م.

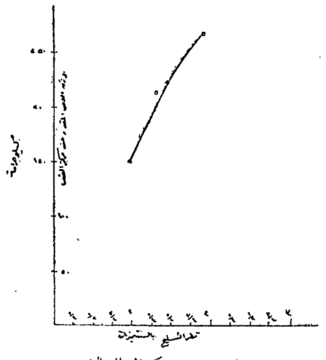
الكمرة نمرة ٢ حملت فجائيا ولذلك لاعبرة للعدد ٣٤٠ لان الحمل الذى بوضع بالتدريج = نصف الحمل الفجائى

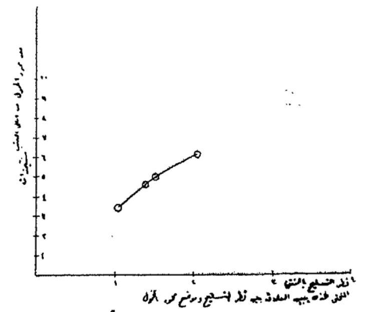
نلاحظ فى هذا الجدول ان فى بعض الاعتاب الحمل المأمون اكبر من الحمل المسبب لاول شق ومع ذلك لاخوف من استعمال هذا الحمل المأمون لان الشقوق الاولى فى اسفل الكمرة لاتؤثر بالمرة ولا خوف منها

ومن الجدول الآتى نرى ان الاعتبار الاول وهو نظرية اشتراك الخرصان مع الصلب فى الشد غير حقيقيه لان الحمل القاطع النظرى يقرب للحقيقى فى الاعتبار الثانى عن الاول

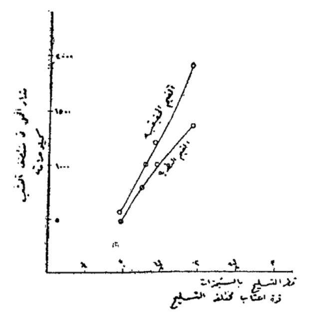
« مقارنة »

نمرة الكمرة	قطر القضيب المساح	الحمل القاطع	الحمل القاطع	الحمل الحقيقى
		الاعتبار الاول	الاعتبار الثانى	
	مم	كج	كج	كج
١	٩٫٥	٦٣	٤٦٥	٦٧٥
٢	٩٫٥	٦٣	٤٦٥	٣٤٠
٣	١٢٫٧	٦٨٫٥	٨٠٩	١٠٢٥
٤	١٢٫٧	٦٨٫٥	٨٠٩	٩٨٥
٥	١٤٫٢٩	٧٢٫٥	٩٦٠	١٠٤٠
٦	١٤٫٢٩	٧٢٫٥	٩٦٠	١٦٨٠
٧	١٩٫٠٥	٨٧٫٢	١٣٦٠	٢٠٤٠
٨	١٩٫٠٥	٨٧٫٢	١٣٦٠	١٧٧٠





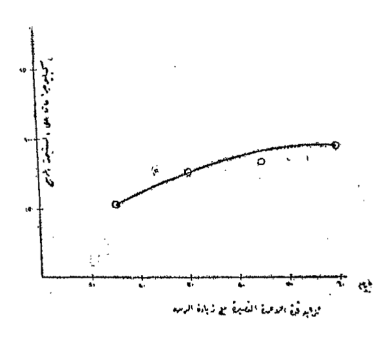
وعملت تجارب على اعتاب لايجاد التأثير الناتج من اختلاف موضع الصلب والجدول الاتى نمرة٣ مبين به بعد التسليح من السطح الاعلى الكمرة لمنتصف الصلب وحمل الامن المحسوب وايضا الحمل القاطع الحقيقى وذلك باستعمال القوانين السابقة



هذا وان الكمرات كانت من الخرصان المرطب المخلوط بنسبة ١ : ٢ : ٥ وعملت عليها التجارب بعد شهرين بتأثير احمال وضعت فى منتصفاتها وكان طول الكمرات ٢١٣٫٣٦ سم ومقطعها مثلث متساوى الاضلاع طول ضلعه ٢٠٫٣ سم

« جدول نمرة ٣ »

نمرة الكمرة	مكان او بعد التسليح من السطح الاسفل	[illegible]	[illegible] كيج	[illegible] كيج	[illegible] كيج	الحمل القاطع الحقيقي كج	
							المتوسط
١	٥٠٫٧٩٩ سم	١٢٧	١٤٧	٤٦٥	٥٦١	٦٧٥	٦٧٨
٢	٥٠٫٧٩٩	١٢٧	١٤٧	٤٦٥	٣٤٠	٣٤٠	
٣	٧٦٫١٩٩	١٠١٫٦	١١٨	٣٧٠	٤١٠	٥٩٠	٥٩٠
٤	٧٦٫١٩٩	١٠١٫٦	١١٨	٣٧٠	٤٠٠	٥٩٠	
٥	١١٤٫٣	٦٣٫٥	٧١٫٥	٢٧٣	٣٣٥	٤١٠	٤٤٦
٦	١١٤٫٣	٦٣٫٥	٧١٫٥	٢٧٣	٤٨٥	٤٨٥	



والخط البيانى يبين ان قوة الكمرة تتغير بتغير العمق المؤثر اى كلما
كان التسليح اعمق كانت الكمرة أقوى والتجربه تثبت ذلك ايضا .
وكان للكمرة الثانية شرخ قبل التجربة ووضعنا الحمل فجأة ولذلك
لم تكن قوتها هى الحقيقية لان تاثير الحمل الذى يوضع سريعا ضعف
الذى يوضع ببطء وكان للصلب دائما حملا من اكبر من حمل الخرصان
ولما كانت كل الكمرات كسرت بتأثير خضوع الصلب وليس بتأثير
الضغط على الخرصان نستنتج من ذلك أن ما اعتبارناه كمعامل للأمن
لهذه الكمرات اكثر من الحقيقة وعليه فلو اعتبرنا معامل الامن ٣ يكون
ذلك أقرب للحقيقة

وقد اخذنا عدد من الكمرات لنبين عليها تاثير تسليح القص

القطرى وكان بعضها مسلحا
والاخر غير مسلح
وكانت الكمرات فى
كلتا الحالتين مكونه من
الخرصان المرطب المخلوط
بنسبة ١:٢:٥ وعملت عليها
التجارب بعد شهرين تحت
تاثير احمال وضعت فى
المنتصف وكان طولها
٢١٣٫٣٦ سم والنتائج مدونة
فى الجدول الآتى نمرة ٤
والتسليح للقص يتركب
من قضيب قطره ٧٫٩٣ مم
وشكله كالمبين بجواره

« جدول نمرة ٤ »

نمرة الكمرة	قطر قضب التسليح مم	الحمل عند اول شرخ كج	القوة الحقيقية للكمرة كج	ملاحظات
١	٩٫٥	٤١٠	٥٩٠	بدون تسليح القص
٢	٩٫٥	٣٩٧	٥٩٠	» » »
٣	٩٫٥	٥٦٠	٦٧٥	مسلحة
٤	٩٫٥	٧٠٠	٧٠٠	»
٥	١٤٫٢٩	١٢٦٥	١٣٧٠	بدون تسليح
٦	١٤٫٢٩	١٢٦٠	١٤٧٥	» »
٧	١٤٫٢٩	١٥٥	١٠٤٠	مسلحة
٨	١٤٫٢٩	١٦٦٥	١٦٧٠	»

متوسط قوة الكمرتين نمرة ١ و نمرة ٢ هو ٥٩٠ ك جرام ومتوسط قوة الكمرتين نمرة ٣ و نمرة ٤ هو ٦٨٧ ك جرام وهما مسلحتان ومن هذا نستنتج ان المسلحة للقص قوتها تزيد عن الغير مسلحة للقص بمقدار

٦٨٧ — ٥٩٠ = ٨٧ ك جرام او $\frac{٩٧}{٥٩٠}$ × ١٠٠ = ١٧ ٪

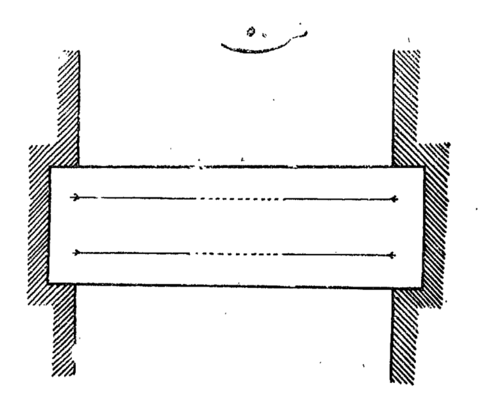
وكذلك متوسط قوه الكمرتين ٥ و ٦ هو ١٤٢٠ ك جرام وقد تبين لنا من التجربة ان قوة الكمرة نمرة ٧ حقيقية وذلك ناشيء من ان الحمل وضع عليها فجأة ولكن اذا قارنا متوسط قوة الكمرتين نمرة ٥ و ٦ وهو ١٤٢٠ ك جرام لقوة الكمرة نمرة ٨ وهى ١٦٧٠ ك جرام نستنتج ان التسليح للقص يزيد قوة الكمرة بمقدار ١٧ ٪ عن قوة الكمرة الغير مسلحة تسليحا للقص

وعملت اعتاب لايجاد تأثير التسليح من اعلى واسفل

(الاعتاب ذوات المقطع الثلاثى المسلحة من اعلى واسفل)

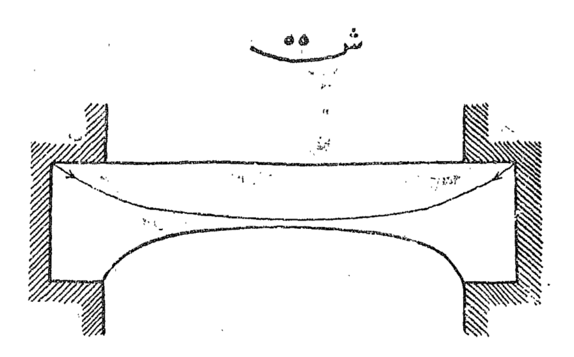
نعم وان كان الخرصان فى حالة الضغط الا انه من المستحسن ان يكون هناك تسليح للشد والضغط فى العتب

وفى الاعتاب المثبتة فى الطرفين يكون العزم فى النهاية فى اتجاه يخالف اتجاه العزم فى الوسط ولذلك يعمل التسليح كما الشكل فى المبين بعد :—

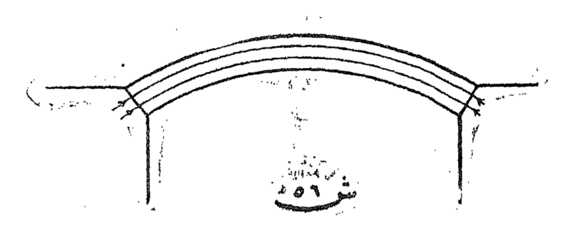


بشرط ان يكون التسليح فى النهاية بطول كافى ليساعد على التماسك ومع ذلك فى الغالب يعمل التسليح العلوى من اول العتب لاخره . وكذلك فى الكمرات المرتكزه على جملة نقط بوضع الصلب فى أعلى ليا خذ الشد

شكل ٥٥



ما في العقود المصنوعة من الخرصان فانها تسقط اما بحدوث شقوق في السطح الداخلي عند القمة او في السطح الخارجي عند ساقي العقد وعلى ذلك فأحسن طريقة لتسليح العقد هو كما مبين بعد ، ومع ذلك فارتفاع الحرارة يحدث شداً في القمة في السطح العلوي ولذلك عمل التسليح في كل العقد



شكل ٥٦

حساب مقاومه اعتاب مثلثيه المقطع مسلحة فى اسفلها واعلاها

فى السطح العلو عند القمه

الكمر ذو القطاع المثلثى المسلح فى اعلا واسفل التحليل

الفروض : — (١) لا يوجد شد فى الخرصان . اما الصلب الذى فى اعلا الكمر يساعد الخرصان فى الضغط

(٢) الانحرافات الحادثة مفروض انها تتغير طردياً مع المسافة من محور الحمول باعتبار ان : ف = اكبر قوة للشد فى الصلب

ق = « « للضغط « «

$ف^{1}$ = « « للشد « الخرصان

$ن_{1}$ = « « للضغط « « وى معامل المرونة للصلب وىَ معامل المرونه للخرصان

من الشكل ١٥ نستنتج ان $\frac{\text{الانحراف فى الخرصانه اعلا الكمره}}{\text{الانحراف في الصلب}}$

$$= \frac{\text{س} - \text{س}}{\text{ح} - \text{ح}} = \frac{\text{س}}{\text{ح}}$$

$$\frac{\frac{\text{ن}_1}{\text{ى}_1}}{\frac{\text{ن}}{\text{ى}}} = \frac{\text{س}}{\text{ح}} \qquad \frac{\text{ن}_1}{\text{ى}_1} = \frac{\text{ى}}{\text{ن}} \times \frac{\text{س}}{\text{ح}}$$

لنفرض ان $\frac{\text{ى}}{\text{ى}_1} = \text{ر}$ $\therefore \text{س} = \text{ح ر} \times \frac{\text{ن}_1}{\text{ن}}$ (١٦)

وكذلك $\frac{\frac{\text{ن}}{\text{ى}}}{\frac{\text{ن}_1}{\text{ى}_1}} = \frac{\text{س} - \text{ع}_1}{\text{س}}$

$$\therefore \frac{\text{ن}}{\text{ر ن}_1} = \frac{\text{س} - \text{ع}_1}{\text{س}}$$

$$\therefore ن = ند_1 \left[\frac{س - ع_1}{س} \right] \quad (١٧)$$

وكذلك $\frac{ن}{ف} = \frac{س - ع_1}{ح}$

$$\therefore ن = ف \left[\frac{س - ع_1}{ح} \right]$$

ومن المعادله (١٦) نستنتج أن

$$ن = \frac{حد \times ن_1}{س} \quad (١٩)$$

$$و\ ن_1 = \frac{س}{ع\ ند} \times ف \quad (٢٠)$$

وبتساوى القوى الافقيه المؤثرة فى الكمرة نستنتج أن شكل (١٦)
باعتبار ه = نسبة مساحة الصلب فى حالة الشد الى مساحة المقطع العرضى
و $ه_1$ = نسبة مساحة الصلب فى حالة الضغط الى مساحة المقطع العرضى

و ا = مساحة الصلب فى حالة الشد

و $ا_1$ = مساحة الصلب فى حالة الضغط

$$ف \times ا = ا_1 \times ن + ص \quad (٢١)$$

$$و\ ص = \frac{ن_1 \times ن \times س}{ع} \times \left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦} \right) \quad (٢٢)$$

شكل ١٤

شكل ١٥
الانزلاق

شكل ١٦
الشد والضغط

وفى هذه الحالة قد اهملنا طرح مساحة الصلب فى أعلى الكمرة من مساحة الخرسانة المضغوطة لانها صغيرة جدا .

$$ا = هـ \frac{ب \times ع}{٢} \qquad (٢٣)$$

$$ا_{١} = هـ \frac{ب \times ع}{٢} \qquad (٢٤)$$

وبوضع قيمة س و ا و ا ١ فى المعادله (٢١) تستنتج ان

$$ف \times هـ \frac{ب \times ع}{٢} = هـ_{١} \frac{ب \times ع}{٢} \times ن + ن_{١} \times \frac{ب \times س}{ع} \left(\frac{ع}{٢} \quad \frac{س}{٦} \right)$$

(٢٥)

$$\therefore هـ = هـ_{١} \times \frac{ن}{ف} + \frac{ن_{١}^{٢} س}{ف \times ع ٢} \left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦} \right)$$

$$= \frac{١}{ف} \left[هـ_{١} ن + \frac{٢ ن_{١} س}{ع} \left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦} \right) \right]$$

وباستبدال قيمة ن ١ ون من المعادلة (٢٠) و (١٨) تكون

$$هـ = \frac{١}{ف} \left[هـ_{١} ف \frac{س}{حـ} ع ١ + \frac{٢ س^{٢} ف}{ع^{٢} حـ ل} \left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦} \right) \right]$$

$$= \left[هـ_{١} \frac{س - ع ١}{حـ} + \frac{٢ س^{٢}}{ع^{٢} حـ ل} \left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦} \right) \right]$$

(س = و — حـ أو حـ = و — س)

$$\therefore هـ = \left[هـ_{١} \frac{س - ع ١}{و - س} \times \frac{٢ س^{٢}}{ع^{٢} (و - س) ل} \left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦} \right) \right]$$

(٢٦) .....

وبمعرفة هـ و هـ$_1$ يمكننا استخراج قيمة س ص (٦)

وبذلك يمكن تعيين محور الحمول .

ثم يمكن كتابة المعادلة رقم (٢٦) كالآتى

$$ن هـ (ن - س) ع^2 = هـ_1 (س - ع_1) ع^2 ن + 2 س^2 (\frac{ع}{2} - \frac{س}{6})$$

وقد سبق أن بينا فى الجزء الاول ان (ل) وهو البعد بين مركز الضغط فى الخرصانه ومحور الحمول تساوى

$$ل_1 = \frac{4ع - س}{6ع - 3س} \times س$$

فاذا اخذنا العزوم حول مركز الشد فى الصلب ينتج ان

$$عزم المقاومة = \frac{هـ ب ع}{2} ن (حـ + س - ع') + ص (حـ + ل')$$

$$= \frac{هـ ب ع}{2} ن (حـ + س - ع') + ق_1 \frac{ب س}{ع} (\frac{ع}{2} - \frac{س}{6}) (ل' + حـ)$$

وبالاستبدال عن الكمية ق بالكمية ق$_1$ ينتج ان

$$عزم المقاومة = \frac{هـ ب ع}{2} (حـ + س - ع') ن ق_1 (\frac{س - ع'}{س}) + ق_1 \frac{ب س}{ع} (\frac{ع}{2} - \frac{س}{6}) (ل' + حـ)$$

$$= ق_1 [\frac{هـ' ب ع}{2} (ع + س - ع') ن (\frac{س - ع'}{س}) + \frac{ب س}{ع} (\frac{ع}{2} - \frac{س}{6}) (ل + ع)]$$

$$= ق_1 ب ع^2 [هـ' \{\frac{1}{2ع} (و - ع') ن (1 - \frac{ع'}{س}) + \frac{س}{3ع} (\frac{ع}{2} - \frac{س}{6}) (ل' + حـ)]$$

واذا اخذنا العزوم حول مركز الضغط فى الصلب ينتج

$$عزم المقاومة = \frac{ب ع}{2} هـ ف (و ع') - ص (س - ل' - ع')$$

$$= \frac{ب ع}{2} هـ ف (و - ع') - \frac{ن ب س}{ع} (\frac{ع}{2} - \frac{س}{6}) (س - ل' - ع')$$

$$= ف ب ع^{٢} \left[هـ \frac{(و - ع)}{٢ ع} - \frac{س^{٢}}{٢ حـ ع} \left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦}\right) (س - لَ - عَ) \right]$$

$$= ف ب ع^{٢} \left[هـ \frac{(و - ع)}{٢ ع} - \frac{س^{٢}}{(و - س) ع ٢} \left(\frac{ع}{٢} - \frac{س}{٦}\right) (س - لَ - عَ) \right] \quad (٢٩)$$

ثم نأخذ العزوم حول مركز الضغط فى الخرصانه ينتج

$$\text{عزم المقاومة} = \frac{هـ ب ع}{٢} ت (لَ + حـ) + ق هـ \frac{ب ع}{٢} (س - لَ - عَ)$$

وبالتعويض عن ت ينتج

$$\text{عزم المقاومة} = \frac{هـ ب ع}{٢} \times (لَ + حـ) \frac{ن حـ}{س - عَ} + ن هـ \frac{ب ع}{٢} (س - ل - ع)$$

$$= ن ب ع^{٢} \left\{ \frac{هـ (لَ + حـ) حـ}{٢ (س - عَ) ع} + هـ \frac{(س - لَ - عَ)}{٢ ع} \right\} \quad (٣٠)$$

ولكن حـ = و — س

فتصير المعادلة (٣٠) كالآتى

$$\text{عزم المقاومة} = ن ب ع^{٢} \left[\frac{هـ (لَ + و - س)(و - س)}{٢ (س - عَ) ع} + \frac{هـ (س - ل - ع)}{٢ ع} \right] \quad (٣١)$$

ولنبدأ الان بعتب ذو قضيب من فئة ١٩٫٠٥ مم عند ٥٠٫٧٩ مم من الاسفل وقضيب آخر من فئة ١٩٫٠٥ مم عند ٢٥٫٤ مم من اعلا العتب

هـ = ٠٫٠١٥٨ هـ = ٠٫٠١٥٨

أى اننا سنستعمل تسليح متساوى فى اعلا واسفل العتب

فاذا استعملنا المعادلة (٢٦) لتعيين محور الحمول ينتج

١٥ (١٢٫٧ — س) (١٧٫٧٨)^{٢} هـ =

هـ َ (س — ٢٫٥٤) (١٧٫٧٨)^{٣} × ١٢ + ٢ س^{٢}

($\frac{١٧٫٧٨}{٢}$ — $\frac{س}{٦}$)

س = ٤٥٫٧٢ مم

ل َ = $\frac{٤ × ١٧٫٧٨ — ٤٫٥٧٥}{٦ × ١٧٫٧٨ — ٢ × ٤٫٥٧}$ × ٤٫٥٧٢ = ١٥٫٣ سم

والآن باستعمال المعادلة (٢٨) ينتج

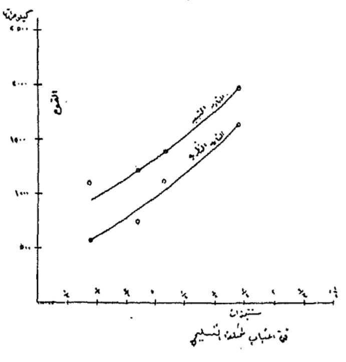
عزم المقاومة = ١٦٦٥٠ كـ جرام سم

وعزم الانحناء المسبب لضغط الخرصانة = ٥ × ١٦٦٥ = ٨٣٢٥٠ كـ جرام سم

وباستعمال المعادلة (٢٩) ينتج

عزم المقاومة = ٣٩٧٥٠ كـ جرام سم

وعزم الانحناء المسبب لتسليم الصلب = ١٢٥٥٠٠ كـ جرام سم



وباستعمال معادله (٣١) بعد ايجاد قيمة ن من المعادلة

$$\text{ن} = \text{ر}\ \text{ن}\ \frac{\text{س} - \text{ع}}{\text{س}}$$

لان الصلب يعمل مع الخرسانة فى جزء الكمرة المستحمل للضغط وعليه يكون له نفس التحريف

وعليه من معادله (٣١) . عم = ٤٤٦٠٠ ك س م

وعزم الانحناء المسبب للسقوط = ٧٧٧٠٠ ك س م

ثم تأخذ كمرات اصغر عزم من العزوم ١٣٢٥٠٠ و ١٢٥٥٠٠٠ و ٧٧٧٠٠٠ والحمل القاطع $\frac{٤ \times ٦٧٢٠٠}{٨٤}$ = ٣٦٥٠ كيلو جراما

عملت كمرات من الخرسانة بنسبة ١ : ٢ : ٥ رخوه واختبرت بعد شهرين بحمل فى وسطها على طول ٢١٣٫٣٦ س م

وكانت الكمرات ذات قطاع مثلثى ٢٠٫٣ × ٢٠٫٣ × ٢٠٫٣ س م وطولها ٢٤٣٫٨ س م باطراف مستطيلة الشكل والنتائج مبينة فى جدول ٥

(جدول ٥)

نمرة الكمرة	قطر التسليح في الاسفل	قطر التسليح فى الاعلى	التسليح فى المائة	الحمل القاطع المحسوب فى الوسط	موضع محور التعادل س	القوة القطعية للكمرة عند اول شرخ	الحمل الفعلى المسبب للكسر
١	٩ر٥ مم	٩ر٥ مم	٠ر٧٨٨ «	٥٦٠ كجرام	٣٢ر٣ مم	٥٧١ كج	٧٥٠ كجرام
٢	٩ر٥ «	٩ر٥ «	٠ر٧٨٨ «	٦٥٠ «	٣٢ر٣ «	٩٣٥	٩٣٥ «
٣	١٢ر٧ «	١٢ر٧ «	١ر٤٢ «	٧٢٨ «	٣٨ر١٠ «	١١١٥	١٢٢٠ «
٤	١٢ر٧ «	١٢ر٧ «	١ر٤٢ «	٧٢٨ «	٣٨ر١٠ «	١٠٢٠	١١٥٠ «
٥	١٤ر٢٩ «	١٤ر٢٩ «	١ر٧٨ «	١١١٥ «	٤١ر٢ «	١١١٥	١٤٢٠ «
٦	١٤ر٢٩ «	١٤ر٢٩ «	١ر٧٨ «	١١١٥ «	٤١ر٢ «	١٢٥٠	١٣٩٥ «
٧	١٩ر٠٥ «	١٩ر٠٥ «	٣ر١٦ «	١٦٦٠ «	٤٥ر٧ «	١٨٣٠	١٨٣٠ «
٨	١٩ر٠٥ «	١٩ر٠٥ «	٣ر١٦ «	١٦٦٠ «	٤٥ر٧ «	١٧١٠	٢٠٠٠ «

على الصفحة المقابلة نرى منحنيا يبين العلاقة بين مقدار التسليح والقوة ومنه نرى ان القيم الفعلية تزيد ٢٠ ٪ تقريبا عن القيم المحسوبة بينما الاحمال التى حصل عندها الشق الاول هى تقريبا نفس القوة المحسوبة للكمرة

(مقارنه بين الاعتاب)

(ا) الاعتاب المسلحة بأسفلها

(ب) الاعتاب المسلحة بأسفلها واعلاها

جدول (٦)

١ قطر التسليح السفلى	٢ قطر التسليح العلوى	٣ نسبة التسليح المئوية	٤ القوة الفعلية	٥ القوة المتوسطة	٦ زيادة القوة في ا على ب	٧ نسبة الزيادة المئوية في القوة
			ك جرام	ك جرام	ك جرام	
٩ر٥ مم	صفر مم	٠ر٣٨٩	٦٧٥	٦٧٧ر٥	ب	
٩ر٥ «	٠٠	٣٨٩ «	٦٨٠	٦٧٧ر٥		
٩ر٥ «	٩ر٥	٧٧٨ «	٧٤٧	٨٣٩	ا ١٦١ر٥	٢٣ر٧ ٪
٩ر٥ «	٩ر٥	٧٧٨ «	٩٣١			
١٢ر٧ «	صفر	٧١ «	١٠٢٠	١٠٠٢ر٥	ب	
١٢ر٧ «	٠٠	٧١ «	٩٨٥			
١٢ر٧ «	١٢ر٧	١ر٤٢ «	١٢٢٠	١١٨٠	ا ١١٥ر٥	١٩ر٤ ٪
١٢ر٧ «	١٢ر٧	١ر٤٢ «	١١٤٠			
١٤ر٢٩ «	صفر	٠ر٨٩ «	١٠٤٠	١٣٥٥	ب	
١٤ر٢٩ «	٠٠	٠ر٨٩ «	١٦٧٠			
١٤ر٢٩ «	١٤ر٢٩ «	١ر٧٨	١٤٢٠	١٢٥٥	ا صفر	صفر ٪
١٤ر٢٩ «	١٤ر٢٩ «	١ر٧٨	١٢٩٠			
١٩ر٠٥ «	صفر	١ر٥٨ «	٢٠٤٠	١٩١٠	ب	
١٩ر٠٥ «	صفر	١ر٥٨ «	١٧٨٠			
١٩ر٠٥ «	١٩ر٠٥ «	٣ر١٦	١٨٣٠	١٩٢٥	١٥	٠ر٣٥ ٪
١٩ر٠٥ «	١٩ر٠٥ «	٣ر١٦	٢٠٢٠			

و يلاحظ فى الخانة (٧) من الجدول (٦) ان الزيادة فى القوه برغم تضعيف التسليح هى ٧و٢٣ ٪ ؟ ١٩٫٤ فى التسليح الخفيف وليس هناك أى زيادة فى التسليح ذى الحجم ٣٨٠٫٢٥ مم٢ كما ان الزياد فى الكمرات ذوات التسليح الثقيل هى ٣٥ ر٠٪ فقط

ثم أجريت تجارب لايجاد تأثير وضع قضيب التسليح عند مركز ثقل القطاع

كمرات موضع قضيب التسليح بها عند مركز ثقل قطاعها

١ نمرة الكمرة	٢ قطر التسليح	٣ نسبة التسليح المئويه الى مساحة الخرسانة	٤ بعد محور الطول عن قمة الكمره	٥ قوة الكمره المحسوبه	٦ الحمل عند اول التشقق	٧ الحمل الداعى للسقوط
١	٢٥٫٤ مم	٥٫٦٨	٣٩٫٦٢ سم	١٠٧٥	٥٧٢	٨٦٣
٢	٢٥٫٤ «	٥٫٦٨	٣٩٫٦٢ «	١٠٧٥	٨٠٠	١٢٨٠
٣	٢٥٫٤ «	٥٫٦٨	٣٩٫٦٢ «	١٠٧٥	٢٨٤	٩٤٠
٤	١٢٫٧ «	١٫٤٢	٢٥٫٦٥ «	٩٥٠	١٨٤	٣٩٠
٥	١٢٫٧ «	١٫٤٢	٢٥٫٦٥ «	٩٥٠	٢٠٤	٤١٨

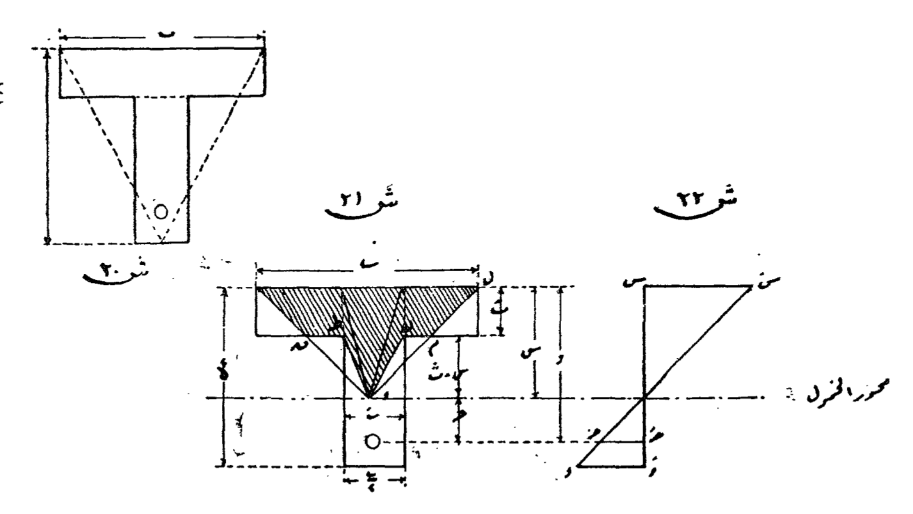
كانت الكمرات تعمل من ١ : ٢ : ٥ من الخرسانة الرخو ونختبر بعد مضى شهرين بالتحميل على منتصفها على طول قدره ٢١٣٫٣ سم ونلاحظ أن الثلاث كمرات الاولى تعطينا متوسطا قدره ١٠٢٨ كجرام بينا تعطينا الرابعة والخامسة متوسطا قدره ٤٠٤ كجرام

كما نلاحظ ايضاً أنه بالرغم ثقل تسليح كل من الثلاث كمرات الاولى يبلغ أربعة أمثال ثقل تسليح كل من الكمرتين الرابعة والخامسة نجد ان نسبة مقوه ليست ألا $\frac{١٠٢٨}{٤٠٤} = ٢٫٥$ والسبب هو وضع قضيب التسليح عند مركز الثقل ليس من الصواب الا اذا استعملت الاعتاب كدرج السلم

﴿ المقارنة بين الكمرات المثلثية والكمرات ذات المقطع T ﴾

لقد شرحنا آنفا كيفية تحليل الكمرات المثلثية . والان نأتى على ذكر تحليل الكمرات ذات المقطع T فنقول

نعرض ان الكمرات كلها ذات عرض متساو من اعلاو نفرض أيضا ان عمق الكمرة T ؟ع = عمق الكمرة المثلثية المقطع ؟ اَ = مساحة الصلب


ش ٢٠
ش ٢١
ش ٢٢
محور الخزل

مساحة الجزء المظلل ل م ك ى ط ن و : —

$$\frac{\text{بس}}{٢} - \left(\frac{\text{س} - \text{ث}}{\text{س}}\right)^{٢} \frac{\text{ب}}{٢} + \frac{\text{س} - \text{ب}}{٢} \times \frac{٥}{٢}$$

$$\frac{٢\text{بس}^{٢} - (\text{س} - \text{ث})^{٢}\,٢\text{ب} + (\text{س} - \text{ب})\,\text{بس}}{٤\text{س}}$$

$$\frac{\text{ب}}{٤\text{س}}\left[٢\text{س}^{٢} - ٢(\text{س} - \text{ث})^{٢} + \text{س}^{٢} - \text{س}\text{ث}\right]$$

$$\frac{\text{ب}}{٤\text{س}}\left(٣\text{س}^{٢} - \text{س}\text{ث} - ٢\text{س}^{٢} + ٤\text{س}\text{ث} - ٢\text{ث}^{٢}\right)$$

$$\frac{\text{ب}}{٤\text{س}}\left(\text{س}^{٢} + \text{س}\text{ث} - ٢\text{ث}^{٢}\right)$$

والان فان الكمرتين (ذات المقطع المثلث وذات المقطع T)
لابد ان تتساوى مقاومتها للقص عند الطرفين

وعلى ذلك تكون المساحة التى تقاوم القص (فى المقطع المثلث)
$= \frac{\text{ب} \times \text{ع}}{٢}$

وتكون ايضا . . . . (. . . T) $= \text{ث} \times \text{ع}$

$\therefore \text{ع}\,\bar{\text{ب}} = \frac{\text{ب}\text{ع}}{٢} \quad \therefore \bar{\text{ب}} = \frac{\text{ب}}{٢}$

وعلى فرض ان مستوى المقطع يبقى مستويا بعد الانحناء فانه
يكون عندنا فى شكل (٢٢) $\frac{\text{س}\bar{\text{س}}}{\text{حـ}\bar{\text{حـ}}} = \frac{\text{س}}{\text{حـ}}$

ولنفرض أن $\text{س}\bar{\text{س}}$ ، $\text{حـ}\bar{\text{حـ}}$ يمثلان على التوالى التغيير فى الطول
(الانكماش والاستطالة) فى الخرصان والصلب

معلوم ايضا ان $\frac{\text{القوة على وحدة المساحة}}{\text{معامل المرونة}} =$ وحده الاستطالة

$$\therefore \frac{\text{س س}}{\text{ح ح}} = \dfrac{\dfrac{\text{وحده الضغط على وحده المساحه}}{\text{معامل المرونه للخرصان}}}{\dfrac{\text{وحده الشد على وحده المساحه}}{\text{معامل المرونه للصلب}}} = \frac{\text{س}}{\text{ح}}$$

وانفرض أن ن_{1} = اكبر قيمة لقوة الضغط (على وحدة المساحة) للخرصان

ت_{1} = ... الشد ......

ن = ... الضغط ...... للصلب

ت = ... الشد ....

ى = معامل المرونه للصلب

ى_{1} = ... للخرصان

$\frac{\text{ى}}{\text{ى}_{1}} = \text{ن}$

$$\therefore \frac{\text{ن}_{1}}{\text{ى}_{1}} \times \frac{\text{ى}}{\text{ت}} = \frac{\text{ح}}{\text{س}}$$

$$\therefore \frac{\text{ن}_{1}}{\text{ت}} = \frac{\text{س}}{\text{ح} \times \frac{\text{ى}}{\text{ى}_{1}}}$$

$$\therefore \text{ت} = \frac{\text{ن}_{1}}{1} \times \text{ح} \times \frac{\text{ى}}{\text{ى}_{1}} \times \frac{1}{\text{س}}$$

$$\text{س} = \text{و} - \text{ح}$$

$$\therefore \frac{\text{ت}}{\text{ن}_{1}} = \frac{\text{ح} \times \text{ى}}{\text{ى}_{1}} \times \frac{1}{\text{و} - \text{ح}} \quad \therefore \frac{\text{ن}_{1}}{\text{ت}} = \frac{\text{و} - \text{ح}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ى}_{1}}{\text{ى}} = \left(\frac{\text{و}}{\text{ح}} - 1\right) \frac{\text{ى}_{1}}{\text{ى}}$$

$$\therefore \frac{\text{و}}{\text{ح}} - 1 = \frac{\text{ى}}{\text{ى}_{1}} \times \frac{\text{ن}_{1}}{\text{ت}}$$

$$\therefore \frac{\text{و}}{\text{ح}} = 1 + \frac{\text{ى}}{\text{ى}_{1}} \times \frac{\text{ن}_{1}}{\text{ت}}$$

$$\therefore \text{ح} = \frac{\text{و}}{1 \times \frac{\text{ى}}{\text{ى}_{1}} \times \frac{\text{ن}_{1}}{\text{ت}}} \qquad (٣٣)$$

مجموع الضغط ص = مساحة الجزء المظلل من شكل ٢١ مضروبا في اقصى ضغط تحمله الخرسانة

$$ص = \frac{ى}{١} \times \frac{ب}{٤س} \{ س^{٢} - ث^{٢} + ٢ س ث \} \quad (٢٤)$$

$$ل_{ب} \times ا = س = ص$$

أى أن الشد الكلى = الضغط الكلى

$$\therefore ب \times ا = ل_{١} \times \frac{ب}{٤س} \{ س^{٢} - ث^{٢} + ٢ س ث \}$$

$$\therefore \frac{ب}{١ ى} = \frac{ب}{١٤ س} \{ س^{٢} - ث^{٢} + ٢ س ث \}$$

ومن (٣٢) نجد

$$\frac{ى}{١ ى} \times \frac{ح}{س} = \frac{ب}{١٤ س} \{ س^{٢} - ث^{٢} + ٢ س ث \}$$

$$\therefore ٤ ا \frac{ى}{١ ى} ح = ب \{ س^{٢} - ث^{٢} + ٢ س ث \} \quad (٣٥)$$

معادلة من الدرجة الثانية للمقدار س

واذا عرفنا ان ا ل و ل $\frac{ى}{١ ى}$ ل ب ل ث أمكننا تعيين المحور لان ح = و — س والقيمة الموجبه للمقدار يعين موضع محور الحمول

لايجاد مركز الضغط

نتبع في ذلك نفس الطريقة في ايجاد مركز الثقل للجزء المظلل من المساحة تأخذ العزوم بالنسبة لمركز الحمول

$$\frac{ب س}{٢} \times \frac{٢}{٣} س - ٢ \{ \frac{ب}{٤} \} \frac{٢}{٣} \frac{(س - ث)^{٣}}{٢ ى} = \frac{ل}{١} \times$$

$$\frac{ى}{٤ س} \{ س^{٢} ث^{٢} + ٢ س ث \}$$

$$\therefore \frac{ب}{١٢ س} \{ ٤ \frac{س^{٣}}{} - ٢ (س - ث)^{٢} \} = \frac{ل}{١} \times \frac{ب}{٤ س} \{ س^{٢} - ث^{٢} + ٢ س ث \}$$

$$ل_١ = \frac{١}{٣} \left\{ \frac{٤ س^٣ - ٢ (س - ث)^٣}{س^٢ - ث^٢ + ٢ س ث} \right\} \quad (٣٦)$$

ولنقارن الان قضيبي ٧ ب ٨ جدول ٢ بقضيب T بنفس التسليح والارتفاع والعرض الاعلا فالقضبان ٧ و ٨ جدول نمرة ٢ يعطيان متوسط ½ (٢٠٤٠ + ١٧٧٠) ك جراما أى ١٩٠٥ كيلو جراما وحيث ان التسليح وعزم المقاومة واحدة فى كلا الحالين

($ل_١$ + هـ) أى بعد مركز الصلب من مركز الضغط فى الخرسانة لا بد ان يكون نفس البعد ($ل_١$ + هـ) فى المقطع المثلثى للقضيب فى هذه الحال = ١٠٫٩٢ س م وباستعمال معادلة نمرة (٣٦) نجد

$$ل_١ = \frac{١}{٣} \left\{ \frac{٤ س^٣ - ٢ (س - ث)^٣}{س^٢ - ث^٢ + ٢ س ث} \right\} + هـ = ١٠٫٩٢ \text{ سم} \quad (١)$$

ولكن هـ = و — س = ٥ — س

$$\therefore \frac{١}{٣} \left\{ \frac{٤ س^٣ - ٢ (س - ث)^٣}{س^٢ - ث^٢ + ٢ س ث} \right\} + ١٢٫٨ \text{ سم} - س = ١٠٫٩٢ \text{ سم} \quad (١)$$

الضغط الكلى = الشد الكلى

مجموع الضغط الفاطع فى القضيب المثلثى المقطع = { ٢٨١٫٢٥ × ٥ = ٥٫٠٦ ١٤٠ { = ١٢٧٥ × ٥ = ٦٣٧٥ ك جرام وباستعمال معادلة نمرة ٣٤ نجد

$$\frac{١٢٣٠ \times ٢٠٫٣}{٤ س} \left\{ س^٢ - ث^٢ + س ث \right\} = ١٢٧٥ \quad (ب)$$

$$\therefore س^٢ - ث^٢ + ٢ س ث + \frac{١٢٧٥}{١٢٣ \times ٢٠٫٣} ٤ س = ٢٫٠٤ \quad (هـ)$$

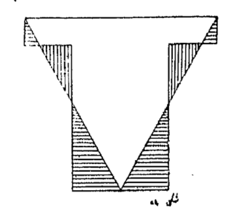
١٢٣ ك جراما = القوة القاطعة الخرسانه بنفس النسب من حيث التركيب والزمن المتخذ فى الخرسانة المستعملة للقضبان

من (١) $\frac{١}{٣}$ { س^{٣} — $\frac{٢ (س — ث)^{٢}}{٤٠ر٢ س}$ } + ١٢ر٨ — س = ١٠ر٩٢ (د)

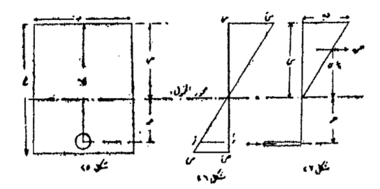
∴ ٤ س^{٣} — ٢ (س — ث)^{٢} + ٥ر٧٨ س — ١٢ر٦ س^{٢} = ٢ر٦٧ س

٤ س^{٣} - ٢ (ث — ث)^{٢} + ٣ر١١ ث — ١٢ر٦ = صفر (هـ)

من هـ نجد ث = $\frac{٢ س — \sqrt{٤ س^{٢} — ٤ (٤٠ر٢ س — س^{٢})}}{٢}$



شكل ٨



$= س - \sqrt{٢ س^٢ - ٢ر٠٤ س}$

وبتعريض مقدرات بما يساويه فى معادلة (هـ)

$\therefore ٤ س^٣ - ٢ (٢ س^٢ - ٢ر٠٤ س)^{\frac{٣}{٢}} + ٣ر١١ س -$
$١٢ر٦ س^٢ =$ صفر

ولنضع مقادير تساويها س

وليكن ص $= ٤ س^٣ - ٢ (٢ س^٢ - ٢ر٠٤ س)^{\frac{٣}{٢}} + ٣ر١١$
$س - ١٢ر٦ س^٢$

$\therefore$ س $=$ ٦ر٢٢٣ سم تحقق المعادله

$\therefore$ س $=$ ٦ر٢٢٣ $-$ ٢ر٢٩٢ $=$ ٣ر٥٣١ سم

ن $\therefore$ مساحة مقطع قضيب T $=$ ٢١١ر٢١٨ سم^٢

واقرب وزن لهذا القضيب T $=$ ١٣١ ك جراما

والقضيب المثلثى المقطع وبنفس القوة يزن ١١٢ ك جراما أى ٨٥٪ من وزن قضيب T وظاهر من شكل ٢٤ أنه باستعمال القضيب المثلثى المقطع تقل المساحة المظللة وبنفس الطريقة

(ا) قضيب مثلثى المقطع بسيخ قطره ٩ر٥ مم وعلى بعد ٥٠ر٧٩٩ مم من القاعده

لذلك تستعمل معادلات ا ، ب ..

مساحة القضيب T المعادل وبنفس القوة تساوى ١٩٦ر١٢ سم^٢ ووزنه $=$ ١٢١ك جراما مع أن وزن المثلثى المقطع $=$ ١١٢ك جراما

(ب) كمر مثلثى القطاع به قضيب ١٤ر٢٩ مم على بعد ٥٠ر٧٧٩ من القاعدة وفى هذه الحالة تكون مساحة الكمر المكافىء ذو قطاع على شكل (T) ١٩٨ر٧٠ سم

ووزنه ١٢٤ كيلو جراما وبمقارنة بالمقدار ١١٢ كيلو جراما فى حالة الكمر ذو القطاع المثلثى نجد أن هناك وفرا قيمته ١٢ كيلو جراما

من هذا نجد أن هناك وفرا فى اختيار كمرات مثلثية القطاع فوق كمرات ذات قطاع على شكل T

المقارنة بين الكمرات المثلثية القطاع والكمرات المستطيلة القطاع

لايجاد العرض لكمر مستطيل القطاع يساوى فى العمق والقوه كمر مثلثى القطاع .

تحليل الكمر المستطيل القطاع شكل (١٥) .

مفروضات : —

(١) ان الصلب يتحمل جميع قوة الشد

(٢) أن الجهد متناسب مع مقدار التحريف فى الخرصان

(٣) أن الجهد ثابت فى التسليح

نجد من شكل ٢٦ أن

$$\frac{\text{س س}_{1}}{\text{س}} = \frac{\text{ز ز}_{1}}{\text{ح}}$$

ولكن س س ١ هو مقدار التحريف فى الخرصان

، زز١ هو مقدار التحريف فى الصلب

ولكن ∴ التحريف $= \frac{\text{الجهد}}{\text{معامل المرونة}}$

نجد $\frac{\text{ف}_{1}}{\text{س}_{1}} = \text{س} = \frac{\text{ف}}{\text{ى}} : \text{ح}$

∴ $\frac{\text{ف}_{1}}{\text{ى}_{1}} \times \frac{\text{ى}}{\text{ف}} = \frac{\text{س}}{\text{ح}}$

نفرض أن $\frac{\text{ى}_{1}}{\text{ى}} = \text{ن}$

∴ $\frac{\text{ف}_{1}}{\text{ف}} \times \text{ن} = \frac{\text{س}}{\text{ح}}$

∴ س = حـ ن × $\frac{\text{ن١}}{\text{ب}}$ (١)

ولكن س = و — حـ = حـ ن × $\frac{\text{ن١}}{\text{ب}}$

∴ حـ = $\frac{\text{و}}{\text{١ + ن ن١ / ب}}$ (٢)

نجد من شكل (٢٧)

أن جميع الضغط فى الخرصان = ض = جميع الشد فى الصلب

ض = $\frac{\text{ن}}{\text{١}}$ × $\frac{\text{س ب}}{\text{٢}}$

∴ $\frac{\text{ن}}{\text{١}}$ × $\frac{\text{ب س}}{\text{٢}}$ = ت × ا (٣)

ولكن $\frac{\text{ن١}}{\text{ب}}$ = $\frac{\text{س}}{\text{ن حـ}}$

∴ $\frac{\text{س}}{\text{ن حـ}}$ = $\frac{\text{ا٢}}{\text{ب س}}$

∴ حـ = و — س

س — ن (و — س) $\frac{\text{ا٢}}{\text{ب س}}$

∴ ب س٢ = ن (و — س) ا٢

∴ ب س٢ — ن و × ا٢ + ن س × ا٢ = ٠ (٤)

∴ س = $\frac{\text{— ٢ ن ا + √ ٤ ن٢ ا٢ + ٤ ب ن و × ٢}}{\text{٢ ب}}$

= $\frac{\text{ن ا}}{\text{ب}}$ { √ ١ + $\frac{\text{٢ ب و}}{\text{ن ا}}$ — ١ } ٥

لايجاد عزم المقاومة

عزم المقاومة = ض ($\frac{\text{٢}}{\text{٣}}$ س + حـ) بالنسبة لمركز الشد

وايضا عم = س ($\frac{\text{٢}}{\text{٣}}$ س = حـ) « « الضغط

ق ض = $\frac{\text{ب س}}{\text{٢}}$ — $\frac{\text{ت}}{\text{١}}$

∴ عزم المقاومة = ع $\frac{\text{ب س}}{\text{٢}}$ ($\frac{\text{٢}}{\text{٣}}$ س + حـ) « (٦)

وايضا « = ت ا ($\frac{\text{٢}}{\text{٣}}$ س + حـ) « (٧)

والان تاخذ ثلاث اعتاب ذات قطاع مثلثى ومختلفى التسليح ونوجد الاعتاب المماثلة ذات القطاع المستطيلى ولها نفس التسليح والعمق والقوة كالمثلثية القطع

(١) ولنأخذ عتبا ذا قطاع مثلثى بقضيب قطره ٠ر٩ مم على مسافة ٧٩٩و٥٠ مم من الحافة السفلى وقد وجدنا سابقا لهذا العتب ان المسافة بين مركز الضلب ومركز الضغط هى ٦٤و١١ سم وحينئذ

$\frac{٢}{٣}$ س + حـ = ٦٤ر١١

حـ = ٧ر٣٢ — س

$\frac{١}{٣}$ س ٠٦ر١

∴ س = ١٨ر٣ سم

ص = ن $\frac{ب س}{٢}$ (٨)

= ن × ا

= ١٩ × ٢٢٤٠ × ٧١ر سم٢

= ٠٠ و٢١٣٠ ك جرام

حيث أن ٣٠٠٠ كجراما حمل التسليح على السنتيمتر المربع للصلب و ٧١ و ٠ سم٢ هى مساحة قضيب قطره ٥ر٩ مم

بفرض نَ = ١٢٣ ك جراما على السنتيمتر المربع كما وجدنا فى كتل من نفس مادة الاعتاب تدريجيا وعمرا

∴ ب = $\frac{٢١٣٠ \times ٢}{١٢٣ \times ١٨ر٣}$ = ٤ ر ١١ سم .

ومن (٨) تكون مساحة قطاع العتب المستطيل الشكل ٤ر١١ × ٧٨و١٧ = ٠٠ر٠٣ سم٢

∴ ...... المثلثى .. = ١٦ و١٠ × ١٧و٧٨ = ١٨٠ س م^٢

وحينئذ فلدينا وفر قدره ٢٣ر٠ س م^٢ وفى عتب طوله ٢٫٤٣٨ مترا يكون لدينا وفر قدره ١٤ ك جراما ثانيا لنا خذ عتبا بقضيب ١٤ ر ٢٩ مم قطر لكى نوجد عتبا مستطيلا مكافئا له فى المقارنة

$\frac{٢}{٣}$ س + حـ = ١١ ر ٠٥ س م

حـ = ٦٢ر٧ — س

$\frac{١}{٣}$ س = ١ و٦٥

س = ٤ ر ٩٥ س م

ص = س = ١ و٦١ × ٣٠٠٠ = $\frac{١٢٣ ب × ٤ ر ٩٥}{٢}$ = ٤٨٣٠ ك جرام

∴ ب = $\frac{٤٨٣٠ × ٢}{١٢٣ × ٤ ر ٩٥}$ = ١٥و٨ س.م

ومساحة قطاع هذا العتب = ١٥و٨ × ١٧و٧٨ = ٢٨٢ س م^٢

» » عتب مثلى = ١٨٠ س م^٢

فلدينا وفر قدره

ويكون وزن العتب المستطيل = ١٧٣ ك حراما وبمقارنة هذا الوزن بالوزن ١٤٢ كيلو جراما (وهو وزن عتب ذى قطاع مثلثى فكافىء له) يكون هناك وفر قدره ٦١ كيلو جراما

ولتأخذ مره ثالثة عنا بقضيب قطره ١٢ر٧ س م على مسافة ٧٫٩٩ ر٠٥ مم من الاسفل

$\frac{٢}{٣}$ س + حـ = ١١ ر ٤ س م ∴ حـ = ١٢ر٧ ..... س

$\frac{١}{٣}$ س = ١ ر ٣ — ∴ س = ٩ ر ٣ س م

$$\text{ب} = \frac{\text{ص}^{٢}}{\text{ق س}} = \frac{\text{س}^{٢}}{\text{ق}_{١}\text{ س}} = \frac{٣٠٠٠ \times ١٢٦٥}{١٢٣\text{م} \times ٣٫٩} = ٩\text{و}١٥ \text{ سم}$$

وعليه فالوفر قدره ٥٧٫٥ كيلو جراما باستعمال عتبات ذات قطاع مثلثى

وتحتاج الكمرة الى ١٦٣٫٣ كيلو جراما من الاسمنت

و ٣١٣٫٣	«	«	الامل
٨٥٫٥	«	«	الزلط
٩٫١	«	«	الماء

والواجب فى عمل الخرصانه المسلحة أن يعمل المخلوط بنسب الوزن لا بنسب الاحجام

« الاعمـــــدة »



يبين الجدول الاتى (١) قوة المدة ذات مقطع مثلثى الشكل طول اضلاعه ٣ر ٢٠ × ٣ ر ٢٠ × ٣ ر ٢٠ بنسبة ١ : ٢ : ٥

طول العمود	القوة	نسبة الطول الاقل من ابعاد القطاع
٧٨٠٧٤ س م	١٥٤٠٠ك جرام	٤
١١١٠٧٦ سم	١٣٧٥٠ك جرام	٦ $\frac{٢}{٧}$
١ر١٣٢ س م	١٢٠٠٠ك جرام	٧ $\frac{٢}{٧}$

والنتيجة من الجدول السابق هى انه كلما كبرت نسبة طول العمود الى أقل بعد من المقطع قلت قوة ذلك العمود والاعمدة القصيرة التى لاتتجاوز نسبته طولها الى اقل بعد من ابعاد مقطعها ٦ مرات يمكن اقامتها من الخرصان العادى على شرط ان يكون الثقل مركزى

واما الاعمدة التى تزيد فيها نسبته الطول عما تقدم يجب تسليحها ليسهل بناؤها ولكميتها ان تقاوم ما عساه يحدث معه الاثقال غير المركزية والصدمات انفجائية

والتسليح ضرورى فى حالة الاعمدة التى تنقل من جهة لوضعها فى جهة اخرى وذلك تجنب اى شدة فى الخرصان لضغط تلك القوة فيه

والخرصان ولو انه يقاوم الضغط الا أنه = $\frac{١}{٤}$ من قوة مقاومة الصلب وعلى ذلك فقدار حجم عمود خرصان عادى يحمل ثقلا يحمله عمود صلب متساوى الطول هو = ٤٠ مرة صحيحة الصلب ولكن

من جهة اخرى تكاليف حجم مخصوص من الخرصانة = $\frac{١}{٥٠}$ من تكاليف ذلك الحجم من الصلب وبناء على ذلك فنفقة عمود من الخرصان الى نفقة عمود من الصلب يتحمل نفس الحمل هى نسبة ٤ : ٥

ولايخفى علينا ان فى بعض المبانى يجب استخدام اعمدة تشغل فراغا صغيرا حرصا من ضياعا مسافة كبيرة تكون ذات قيمة فيمكن اذن استخدام اعمدة الصلب أو الخرصان المسلح

دلت التجارب التى اجريتها سنة ١٩١١ — ١٩١٢ أنه كلما ذادت نسبة الاسمنت فى الخرصان ذادت قوة للضغط — والجدول الاتى بين نتائج التجارب

نسبة الاسمنت	مقاومة الضغط بعد ١٤٠ يوما على السنتيمتر المربع
٨ ٪	٨ر٦٢
١٠ ٪	٥ر٧٩
١٢½ ٪	٠ر٨١
١٥ ٪	١١٥٠٥

وهذا يدل على ان زيادة نسبة الاسمنت واسطة فعالة فى تقوية الاعمدة وذلك يسمح لتقليل مقطعها

« حساب الاعمدة »

نفرض ع ك ج الحمل على العمود

$\text{ل}_{١}$ = طول العمود

$\text{ا}_{١}$ = مساحة الخرصانه

$\text{ا}_{٢}$ = المساحه الكلية للعمود

ا = المساحة الكلية للصلب

$\text{ن}_{١}$ = وحدة الضغط فى الخرصانة

ن = « » » الصلب

$\frac{\text{ى}}{\text{ى}_{١}}$ = ر نسبة $\frac{\text{معامل المرونة للصلب}}{\text{معامل المرونة للخرصانه}}$

$١٠٠ \times \frac{\text{ا}}{\text{ا}_{٢}}$ = ه نسبة الصلب لمساحة العمود

$\text{ن}_{٢}$ = وحدة الحمل على العمود

ونفرض ايضا التماسك بين الصلب والخرصانة كاف لمنع الانزلاق

∴ الصلب والخرصانه يعملان معاً ويكون لهما انزلاق واحد

نفرض ل = مقدار النقص فى الطول

∴ $\frac{\text{ل}}{\text{ل}_{١}}$ يكون الانحراف

$$\text{ن}_{١} = \text{ى}_{١} \times \frac{\text{ل}}{\text{ل}_{١}}$$

$$\text{و}\quad \text{ن} = \text{ى} \times \frac{\text{ل}}{\text{ل}_{١}}$$

$$\frac{\text{ن}}{\text{ن}_{١}} = \frac{\text{ى}}{\text{ى}_{١}} \times \frac{\text{ل}}{\text{ل}_{١}} \times \frac{\text{ل}_{١}}{\text{ل}} = \text{ر}$$

$$\therefore \text{ن} = \text{ر}\,\text{ن}_{١} \quad \ldots\ldots (١)$$

وعلى ذلك اذا كان (ع) هو حمل الامن الذى يحمله العمود

$$\therefore \text{ع} = \text{ا}_{١} \times \text{ن}_{١} + \text{ر}\,\text{ن}_{١}\,\text{ا}$$

$$= \text{ن}_{١} (\text{ا}_{١} + \text{ر}\,\text{ا}) \quad \ldots\ldots (\text{ب})$$

وبوضع $ا = هـ\,ا_{١}$

$$\therefore\ ع = ن_{١}\,(ا_{١} + ن\,هـ\,ا_{٢})$$

و $ن_{٢}$ = وحدة الضغط على العمود

$$= \frac{ع}{ا_{٢}} = ن_{١}\,\frac{(ا_{١} + ن\,هـ\,ا_{٢})}{ا_{٢}}$$

ولكن $ا_{٢} = ا + ا_{١}$

$$\therefore\ ن_{٢} = ن_{١}\left\{\frac{ا_{٢} - ا}{ا_{٢}} + ن\,هـ\right\}$$

$$= ن_{١}\,(١ - هـ + ن\,هـ)$$

$$= ن_{١}\,[١ + هـ\,(ن - ١)] \ \ldots\ldots\ (ح)$$

ولايجاد وحدة التماسك بين الصلب والخرصان

ليكن $ع_{١}$ الحمل الذى يحمله الصلب و $ع_{٢}$ الحمل الذى تحمله الخرصانه

∴ الفرق بين $ع_{٢}$ و $ع_{١}$ هو الذى يحمله التماسك بين الصلب والخرصان

لتكن $ا_{٣}$ سطح التماسك

$$\therefore\ \text{وحدة التماسك} = \frac{ع_{٢} - ع_{١}}{ا_{٣}}$$

والمساحة المؤثرة المستعملة فى تقدير حمل الامن الذى يحمله العمود تكون عادة أقل من المساحة كلها ليكون هناك سمك معلوم قدره ٤ س م تقريبا وقاية من النار لان الخرصانه فى هذا العمق اذا

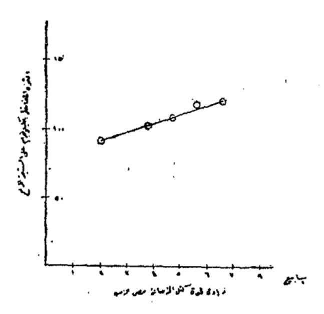
كانت فى نار شديدة ربما تتأثر بالحرارة وتضيع قوتها ويمكن أن يسمح بسمك أقل من ٤ س م اذا كانت محتويات البناء غير قابلة للالتهاب

وقد عملت كتل من مخلوط بنسبة ١:٢:٥ ومن قوام ربط لايجاد زيادة القوة مع تعاقب الزمن

والمقادير المتحصل عليها من هذه التجارب استعملتها فى حساب الاعمدة والاعتاب

كان مقاس بعض الكتل ١٢ر٥ س م × ١٢ر٥ س م × ١٥ س م

والبعض الآخر على شكل اسطوانه قطرها ١٣ر٧ س م وارتفاعها ١٥ س م



تجارب التماسك

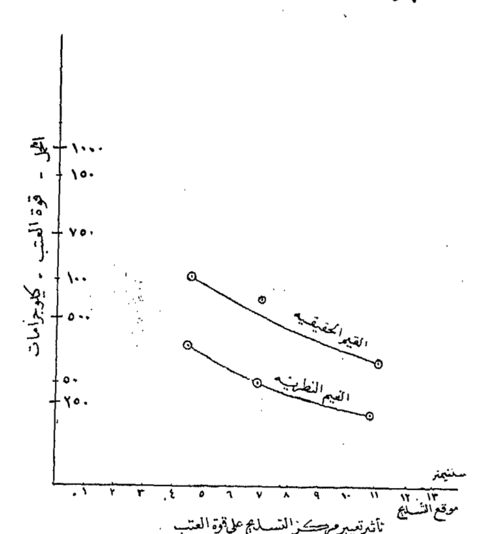
الاسطوانات التى قطرها ١٥ س م وطولها ٣٠ س م ملئت بالخرصان بنسبة ١:٢:٥ وفى وسطها سيخ قطره ١٩ر٠٥ مم من منتصفها كما هو مبين بالشكل :

شكل ٥٧

وقـد وجدت مقاومة التماسك بالنسبة لعمر العمود وكان المركب رطب القوام ونتائج التجارب مدونة بالجدول الآتى : --

العمر	قطر السيخ	مقطع السيخ	الطول المفروز	الثقل	وحدة الشد على السيخ	نهاية المرونة للصلب	شدة التماسك	مقاومة الضغط ذات العمر الواحد
١٥ يوم	١٩ر٠٥ مم	٢ر٨٤ سم²	٣٠ر٥ سم	٤٥٣٠ كجم	١٧٠٠ كجم/سم²	٢٥٣٠ كجم/سم²	٢٥ر٣ كجم/سم²	٩٢ر٠ كجم/سم²
٣٠ »	١٩ر٠٥ »	٢ر٨٤ »	٣٠ر٥ »	٦٥١٠ »	١٩٧٠ »	٢٥٣٠ »	٣١ر٠ »	١٣٠ر٠ »
٤٥ »	١٩ر٠٥ »	٢ر٨٤ »	٣٠ر٥ »	٥٩٢٠ »	٢٠٩٠ »	٢٥٣٠ »	٣٢ر٧ »	١١٠ر٥ »
٦٠ »	١٩ر٠٥ »	٢ر٨٤ »	٣٠ر٥ »	٦٩٠٠ »	٢٤٠٠ »	٢٥٣٠ »	٣٧ر٦ »	١٢٤ر٠ »

ومن هذا الجدول نرى أن وحدة الشد على السيخ تعادل ٢/٣ الشد عند نهاية المرونة قبل أن يضيع التماسك الموجود بين الصلب والخارصان



تأثير تغيير مركز التسليح على قوة العتب

العمر	المقاومة للضغط ك جرام على السنتيمتر المربع	ملاحظات
اسبوعان	٩٢ر٧	متوسط اربع كتل
٣ اسابيع	٩٨ر٥	» »
٤ »	١٠٢ر٥	» »
٥ »	١٠٨ر٠	» »
٦ »	١١٧ر٥	» »
٧ »	١٢١ر٠	» »
٨ »	١٢٤ر٠	» »

اى ان المقاومه للضغط تزداد مع الزمن لحد معين

الاعمدة القصيرة الخالية من التسليح

هـذه الاعمدة ثلاثية المقطع ٢٠ر٣ × ٢٠ر٣ × ٢٠ر٣ سم طولها ٧٠. سم وعملت بنسبة ١ : ٢ : ٥ من الخارصان . وقد حسبت مقاومتها عند اعمار مختلفه والعمود القصير يزن ٣٠ك جراماً

نمرة العمود	العمـر	الاثقال بالكيلو جرام	وحدة الاثقال ك جرام على السنتيمتر المربع	المقاومة الضاغطة للكتل ك جرام على السنتيمتر المربع	ملاحظـات
١	٦٠ يوماً	١٦ر٤٠٠	٩١ر٠	١٢٤ر٠	
٢	« «	١١ر٣٠٠	٦٣ر٣٠	١٢٤ر٠	اقل من المعتاد
٣	٤٥ «	١٤ر٤٥٠	٨٠ر٠٠		
٤	« «	١٤ر٢٥٠	٧٨ر٢٠	١١٧ر٠	
٥	٣٠ «	١٣ر٤٥٠	٧٥ر٠٠		
٦	« «	١٣ر٠٠٠	٧٢ر٣٠	١٠٢ر٥	
٧	١٥ «	٨ر٥٥٠	٤٧ر٣٠		
٨	« «	٩ر٧٠٠	٥٣ر٤٠	٩٣ر٢	

كل هذه الاعمده كسرت عند الطرف الاعلى عند ما اجريت عليها التجارب واخذت الشكل الآتي:

حساب قوة الأعمدة

عمود طوله ٢٫٤٤ متراً مقطعه مثلث متساوى الاضلاع ضلعه ٢٠٫٣ سم وضع داخله قضيب قطره ١٫٨مم بحيث يقع فى مركز قله سبق وجدنا ان ىہ ٢ = ىہ ١ [١ + ھ (ں — ١)] ..

(حـ) كما ايضاً وجدنا سابقاً ىہ ١ = وحده الضغط للخارصان وقيمتها ١٢٣ ك جرام سم٢ وهذه القيمة مأخوذة من التجارب

واذا فرضنا أن الصلب والخارصان يعملان معاً حتى يتكسر الخارصان

∴ ىہ = ں ىہ ١ كما وجدنا سابقاً

فاذا كان ىہ = ١٥ ں ں ١ = ١٢٣ . ∴ ں = $\frac{١٥}{١٠٠٠}$ × $\frac{١٢٣}{١}$ = ١٫٨٥ طناً على السنتيمتر المربع حتى لو كانت ىہ = ٢٠ فان ں = $\frac{٢٠}{١٠٠٠}$ × $\frac{١٢٣}{١}$ = ٢٫٤٦٠ طناً على السنتيمتر المربع وكلا القيمتين تبين انه اذا انكسر الخارصان فان الصلب لم يضغط حتى لغاية حمل التسليم فلكى نحصل على حمل الامن لهذا العمود فتستعمل لمعادلة (ب)

ع = ٢٤٫٦ [١٨٠٫٦٣٨ — ٧و٩١٥ + ٧و٩١٥ ں]

وحينما تكون ں = ١٥

∴ ع = ٧٣٠٠ ك جرام

للحصول على حمل الكسر

قد تحصلت من التجارب ان الحمل القاطع يساوى ١١٩٠٠ ك ج وذلك لعمود طوله ١٣٠ سم وقطعه مثلث متساوى الاضلاع طول

ضلعه ٣و٢٠ س م بنسبة ١ : ٢ : ٥ بعد ما مكث شهرين

واذا اجرينا التجربة لعمود آخر مثله تماماً ويختلف عنه فى الطول حيث يبلغ ٧٠ س م فنجد ان الحمل يساوى ١٦٣٠٠ ك جرام وهذا يبين ان نسبة الحمل القاطع لعمود طوله الضعف هى $\frac{١١٩٠٠}{١٦٣٠٠}$ = ٧٣ر:

∴ الحل القاطع لعمود طوله ٢٤٠ سهم تساوى تقريباً ١١٩٠٠ × ٧٣ر و = ٨٧٠٠ ك جرام

∴ وحدة الحمل القاطع $\frac{٨٧٠٠}{١٨٠٦٣٨}$ = ٤٨٣٠

فللحصول على الحمل الذى يكسر هذه الاعمدة نستعمل س =

اذا العمود الذى فى وسطه قضيب قطره ٨ ر ٣١ سهم يتكسر على ٧٣٠٠ × ٢ = ١٤٦٠٠ ك جرام

ص = ٣ ر ٤٨ (١٨٠٦٦٤ — ١٦٢٦٥ + ١٥ × ١٦٢٦٥)

|| ٩٧٥٠ ك ك ج وبهذه الطريقة يمكننا معرفة قوة تحمل الاعمدة الاخرى

والاعمدة عملت من مخلوط مركب بنسبة ١ : ٢ : ٥ من الخارصان وتختبر بعد مضى شهرين وتدون النتائج فى جدول (٩)

المواد التى تلزم لعمل عمود طوله ٢٤٠ س م ومقطعه مثلث متساوى الاضلاع طول ضلعه ٣ ، ٢٠ س م الخارصين بنسبة ١ : ٢ : ٥ فان القدم المكعب من الخارصان يلزمه

$\frac{١٫٣٣}{٢٧}$ براميل سمنت و $\frac{٣٧}{٢٧}$ ، ياردات مكعبة من الرمل و $\frac{٩٣}{٢٧}$ ، ياردات مكعبة من الاحجار العمود الواحد يلزمه

$\frac{١٫٣٣}{٢٧}$ × ١٦٥٦ = ٠٧٦ ، براميل اسمنت

∴ ٣٧/٢٧ × ١ ، ٥٦ ٢١٤ و٠ ياردات مكعبة من الرمل

مثال آخر لعمود فى داخله قضيب قطره ٤ ، ٢٥ م م

الحل : نستعمل المعادلة (ب)

ع = ن { ا × ر ا } = ٤٨٫٣ { (١٨٠ ، ٦٤ ٥ ، ٠٥)

+ ١٥ × ٥٥ ، ٠٥ = ١٢٣٥٠ و ك جرام

مثال آخر عمود فى داخله قضيب قطره ١٩ ، ٠٥ مم

∴ ا = ٢ ، ٨٥ س م مربع

= ٤٨،٣ { ١٨٠،٦٤ — ٢،٨٥ + ١٥ × ٢ ، ٨٥ }

= ٦١٠٩٠٠ جرام

مثال آخر عمود فى داخله قضيب قطره ١٤ ، ٣ م م عند مركز الثقل

ا = ١ ، ٦١ س م مربع

ع = ٤٨ ، ٣ { ٨٠،٦٦٤ — ١٫٦١١ + ١٥ × ١،٦٦ } = ٩٥٥٠

و جرام

والعمود الواحد يحتاج الى ١٣ ، ٢ و ك جرام اسمنت

٢٤ و ك جرام رمل

٦٩ و ك جرام زلط

« والجدول الآتى عبارة عن اعمدة عملت واختبرت »

الجدول العاشر

نمرة	التسليح	القيمة المحسوبة للحمل المأمون	القيمة المحسوبة للحمل عند الكسر	النسبة المئوية	الحمل الحقيقي عند اول شق	المقاومة الحقيقية للعمود	المتوسط
		ك . جرام	ك . جرام		ك . جرام	ك . جرام	
١	غير مسلح	٤٤٥٠	١٧٧٥٠	خالى		١٦٣٠٠	١٣٨٥٠
٢	« «	٤٤٥٠	١٧٧٥٠	«		١١٤٠٠	
٣	بسيخ قطره ٣١ر٧٥	٧١٥٠	١٤٣٠٠	٤ر٣٨ ٪	١٠١٥٠	١٧٨٠٠	١٦٨٠٠
٤	بسيخ قطره ٣١ر٧٥	٧١٥٠	١٤٣٠٠	٤ر٣٨ ٪	١٤٩٠٠	١٥٩٠٠	
٥	بثلاثة اسياخ بقطر ١٩ر٠٥	٧٣٥٠	١٤٨٠٠	٥ر٧٤ ٪	١٠١٥٠	١٣٤٥٠	١٥٠٢٥
٦	« « «	٧٣٥٠	١٤٨٠٠	٥ر٧٤ ٪	١٥٢٥٠	١٦٦٠٠	
٧	بسيخ واحد قطر ٢٥ر٤	٧٣٥٠	١٢٣٠٠	٢ر٨١ ٪	٥٧٠٠	١٣٣٠٠	١٢٦٠٠
٨	« « «	٦١٥٠	١٢٣٠٠	٢ر٨١ ٪	٨٨٠٠	١١٩٠٠	
٩	بثلاثة اسياخ قطر ١٤ر٢٨	٦١٠٠	١٢٢٠٠	٢ر٦٧ ٪	١٥٢٠٠	٢٠٠٠٠	٢٠٤٠٠
١٠	« « «	٦١٠٠	١٢٢٠٠	٢ر٦٧ ٪	١٥٢٠٠	٢٠٨٠٠	
١١	بسيخ قطره ١٩ر٠٥	٥٩٠٠	١٠٨٥٠	١ر٥٨ ٪	١٢٢٠٠	١٧٦٥٠	٢١٩٧٥
١٢	« «	٥٩٠٠	١٠٨٥٠	١ر٥٨ ٪	١٧٢٠٠	٢٦٣٠٠	
١٣	بثلاثة اسياخ قطر ١١ر١١٢	٥٩١٠	١٠٩٠٠	١ر٦٢ ٪	٢٣٦٠٠	٢٤٠٠٠	١٢٨٥٠
١٤	« « «	٥٩١٠	١٠٩٠٠	١ر٦٢ ٪	١٥٢٠٠	١٩٧٠٠	
١٥	بسيخ واحد قطر ١٢ر٧	٤٨٦٠	٩٧٠٠	٧١ر ٪	١٠١٥٠	١٩٥٠٠	٢٠٤٠٠
١٦	« « «	٤٨٦٠	٩٧٠٠	٧١ر ٪	١٠١٥٠	٢١٣٠٠	
١٧	بثلاثة اسياخ قطر ٩ر٥٢	٥١٥٠	١٠٧٥٠	١ر١٨٢ ٪	٨١٠٠	٩٤٠٠	٢٢٣٠٠
١٨	« « «	٥١٥٠	١٠٧٥٠	١ر١٨٢ ٪	١٥٢٥٠	١٥٢٠٠	

وهذه الاعمدة أثبت وأقوى من اعمدة مربعة المقطع ومساوية لها فى المساحة ونسبة التسليح

مطبعة أبي الهول بشارع محمد علي بالقاهرة
بجوار دار الكتب الخديوية لصاحبها عثمان فهمي